

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv teploty taveniny na kvalitu výrobku z POM

Effect of melt temperature on quality of the product from POM

Petr Janků

KSP – TP – B

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Luboš Běhálek – *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	52
Počet tabulek	15
Počet obrázků	51
Počet rovnic	6
Počet příloh	11

Datum: 25. 5. 2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Petr J A N K Ů**

Studijní program **B2341 Strojírenství**

Studijní obor **3911R018 Materiály a technologie**

Zaměření **Tváření kovů a plastů**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

Vliv teploty taveniny na kvalitu výrobku z POM

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Charakteristika zpracování plastů technologií vstřikování, morfologie plastů a její vliv na konečné vlastnosti materiálu, vliv teploty taveniny na kvalitu výstřiků.
2. Výběr a výroba polyoxymethylenového dílu z produkce firmy TAKATA-PETRI PARTS s. r. o., za různých teplot taveniny z doporučené tolerance technologického předpisu nastavení vstřikovacího stroje.
3. Příprava zkušebních těles a stanovení rázových a ohybových vlastností výstřiků dle mezinárodních standardů ISO 179-1 a ISO 178.
4. Stanovení vlivu teploty taveniny na obsah krystalického podílu ve struktuře materiálu využitím metod diferenční snímací kalorimetrie a rentgenové difrakce záření X.
5. Vyhodnocení výsledků a jejich diskuse, závěr.



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*, Praha: Technická literatura BEN, 2009.
- [2] LEDNICKÝ, F. *Mikroskopie a morfologie polymerů – 2. díl (Morfologie polymerů)*. Liberec : TU v Liberci, 2009.
- [3] KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*, Praha SNTL, 1986.
- [4] Odborné články v časopisech.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Luboš Běhálek

Konzultant bakalářské práce:




prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry


doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 17. 2. 2012

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Petr Janků

Téma práce: Vliv teploty taveniny na kvalitu výrobku z POM
Effect of melt temperature on quality of the product from POM

Číslo BP: KSP – TP – B

Vedoucí BP: Ing. Luboš Běhálek *TU v Liberci*

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce je optimalizace výroby plastového dílu 960 12 858.10.01 na vstřikovacím stroji Arburg 270 CMD. Při současném vstřikovacím procesu je proměřováno a kontrolováno 27 různých parametrů, do kterých spadají teploty, (do)tlaky, vstřikovací rychlosti, výrobní časy apod. V rámci bakalářské práce bylo prováděno zjištění, zda toleranční pole temperačních zón tavicí komory a trysky není příliš rozsáhlé a experimentálně byly zkoumány jeho vlivy na konečnou kvalitu výrobku.

Abstract:

The aim of the bachelor work is to optimize the production of plastic part 960 12 858.10.01 to injection molding machine Arburg 270 CMD. 27 different parameters are measured and controlled by co-injection process, for example temperature, pressure, holding pressure, injection speed and production time. The bachelor work was conducted to determine whether tolerance tempering zone of a melting chamber and a nozzle is not too large and its effects on final product quality were experimentally investigated.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 25. května 2012

.....

Petr Janků

Studenec 205

512 33 Studenec u Horek

Poděkování:

V prvé řadě bych chtěl vyjádřit poděkování především mým rodičům, své přítelkyni Evě a rodině za podporu nejen při zpracování bakalářské práce, ale také po celou dobu studia.

Zvláštní poděkování potom náleží Ing. Luboši Běhálkovi za vedení bakalářské práce a mnohé cenné rady vedoucí k objasnění daného tématu. Dále patří poděkování za pomoc s měřením rentgenové difrakce Ing. Miroslavu Pastorkovi z UTB ve Zlíně. Poděkování bych chtěl také vyjádřit Ing. Pavlu Doubkovi, Ph. D. z KSP při TU v Liberci a firmě TAKATA – PETRI PARTS s. r. o. v Dolní Kalné, jmenovitě panu Ing. Antonínovi Stejnému a panu Otovi Stránskému za pomoc při výrobě zkoumaných dílů.

OBSAH	Strana
1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti	10
2.2. Morfologie polymerů	12
2.3. Technologie vstřikování	16
2.4. Vliv teploty taveniny na vady plastových výrobků	18
2.5. Charakteristika polyoxymethylen (POM)	22
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	24
3.1. Výroba dílů	24
3.2. Tvarová příprava zkušebních těles	27
3.3. Stanovení mechanický vlastností	28
3.3.1. Stanovení vrubové houževnatosti Charpy	28
3.3.2. Stanovení ohybových vlastností	32
3.4. Stanovení stupně krystalinity	35
3.4.1. Aplikace diferenční snímací kalorimetrie (DSC)	35
3.4.2. Aplikace rentgenové difraktometrie	40
4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE	45
4.1. Vyhodnocení vrubové houževnatosti Charpy	45
4.2. Vyhodnocení ohybových vlastností	46
4.3. Vyhodnocení krystalinity metodou diferenční snímací kalorimetrie	47
4.4. Vyhodnocení krystalinity metodou rentgenové difrakce záření X	47
5. ZÁVĚR	49
LITERATURA	51
PŘÍLOHY	

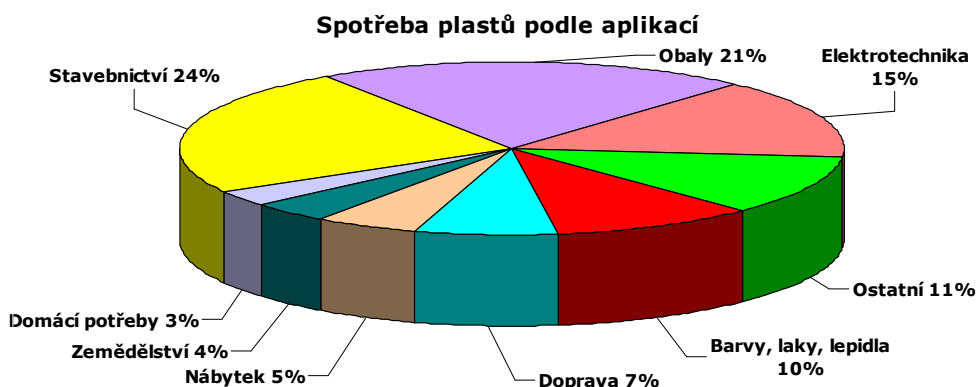
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

DT	- označení šarže dolní tolerance	
HT	- označení šarže horní tolerance	
S	- označení šarže se standardními hodnotami	
Z	- označení šarže zvolené	
EP	- Epoxidová pryskyřice	
EVA	- Ethylen – vinylacetát kopolymer	
PAI	- Polyamidmid	
PBT	- Polybuthylentereftalát	
PE	- Polyetylen	
PET	- Polyethylentereftalát	
PEI	- Polyetherimid	
POM	- Polyoxymethylen, Polyformaldehyd, Polyacetát	
PP	- Polypropylen	
PSU	- Polysulfon	
PTFE	- Polytetrafluorethylen	
PUR	- Polyuretan	
PVC	- Polyvinylchlorid	
b	- šířka zkušební tělesa	[mm]
b_n	- šířka zkušební tělesa pod vrubem	[mm]
h	- tloušťka zkušební tělesa	[mm]
L	- rozpětí mezi podpěrami při ohybové zkoušce	[mm]
l	- délka zkušební tělesa	[mm]
R1	- poloměr zatěžovací trnu ohybové zkoušky	[mm]
R2	- poloměr podpěr při ohybové zkoušce	[mm]
s	- průhyb zkušební tělesa uprostřed rozpětí podpěr	[mm]
v	- zkušební rychlost při ohybové zkoušce	[mm/min]
V	- celkový objem materiálu	[m ³]
V_a	- objem amorfní části	[m ³]
V_c	- objem krystalické části	[m ³]
a_{cA}	- vrubová houževnatost Charpy	[kJ/m ²]
E_C	- energie spotřebovaná při přeražení tělesa	[J]
ΔH_m	- entalpie tání zkoumaného polymeru	[J/g]
ΔH_m[*]	- entalpie tání plně krystalického polymeru	[J/g]
X	- stupeň krystalinity	[%]
ε_{fl}	- deformace ohybem při průhybu s ₁	[%]

ε_{f2}	- deformace ohybem při průhybu s_2	[%]
E	- modul pružnosti v tahu	[MPa]
E_f	- modul pružnosti v ohybu	[MPa]
σ_{f1}	- napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f1} = 0,0005$	[MPa]
σ_{f2}	- napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f2} = 0,0025$	[MPa]
σ_{fM}	- pevnost v ohybu	[MPa]
F	- ohybová síla	[N]
F_p	- přisouvací síla vstřikovací formy	[N]
F_u	- uzavírací síla vstřikovací formy	[N]
T801	- 1. topná zóna tavicí komory	[°C]
T802	- 2. topná zóna tavicí komory	[°C]
T803	- 3. topná zóna tavicí komory	[°C]
T804	- 4. topná zóna tavicí komory	[°C]
T805	- topná zóna na trysce	[°C]
T	- teplota	[°C]
T_g	- teplota zesklenní	[°C]
T_m	- teplota tání	[°C]
A_a	- plocha amorfního halo	[cts * °2Th.]
A_c	- plocha piku	[cts * °2Th.]
I_c	- intenzita reflexí krystalického záření	[cts]

1. ÚVOD

Polymerní materiály tvoří v dnešním světě nedílnou součást našeho života. Své místo (viz obr. 1.1) nacházejí zejména v potravinářském průmyslu, elektrotechnice, automobilovém průmyslu nebo spotřebních materiálech a jejich uplatnění roste neustále ve všech odvětvích. Ačkoli byl první polymer – kaučuk – objeven v roce 1496 Kryštofem Kolumbem, masivnějšího uplatnění a rozvoje zpracování se polymery dočkaly až počátkem 20. století s použitím prvního polymeru v podobě celulózy a následně fenolformaldehydové pryskyřice. V současnosti existují tisíce druhů plastů, avšak v technické praxi se lze nejčastěji setkat jen s několika desítkami druhů.



Obr. 1.1 Spotřeba plastů podle aplikací /1/

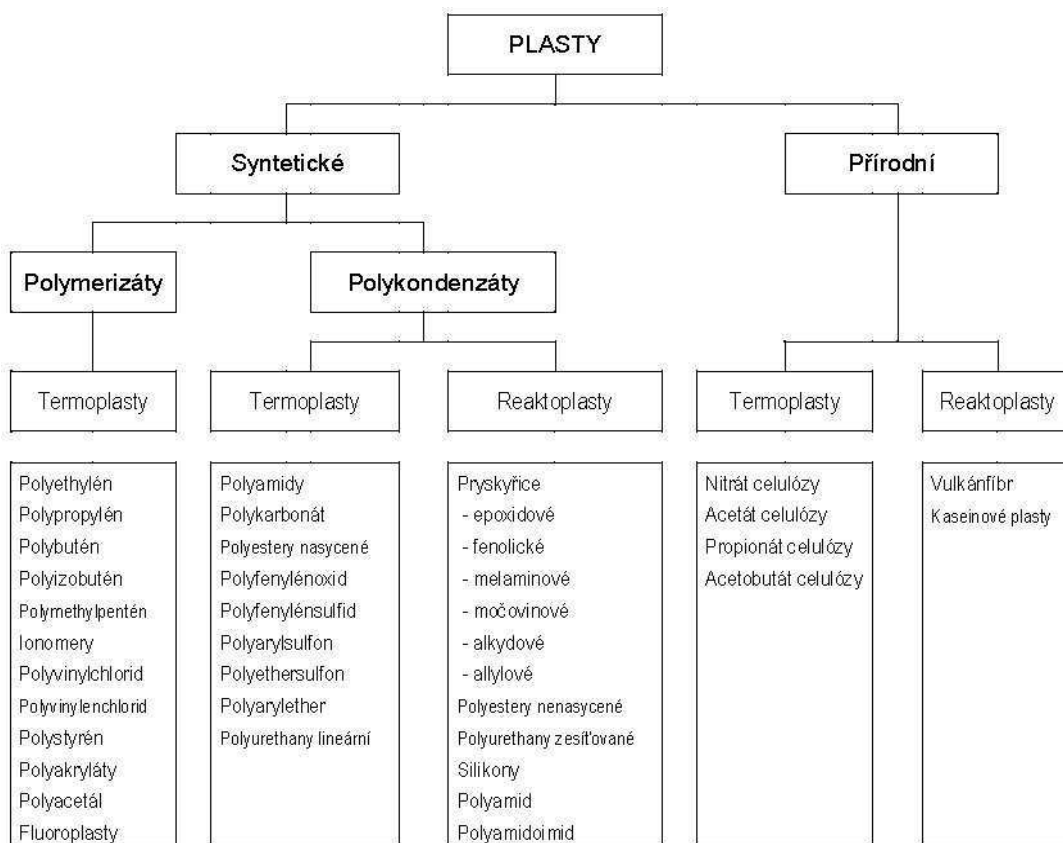
Jedná se o progresivní materiály, které vynikají ve srovnání s ostatními typy materiálů nenáročnou technologickou zpracovatelností, nízkou hmotností, cenou a zejména energetickým zatížením. V porovnání s kovovými materiály však nedisponují takovými mechanickými vlastnostmi jako je pevnost a např. tepelná odolnost, což má za následek omezené užití v konstrukčních aplikacích. Výhodou polymerů je to, že dokážou být průhledné jako sklo, pružné jako guma nebo tenké jako pergamenový papír. Nepřetržitým vývojem vznikají nadále nové typy polymerních materiálů se stále odolnějšími vlastnostmi a rostoucím uplatněním. Vlastnosti polymerů jsou odrazem jejich chemického složení, molekulární a nadmolekulární struktury, podmínek zpracování a dalších vlivů, které souvisí s jejich užíváním v aplikační oblasti. Technologické podmínky zpracování mají vliv nejen na tvarovou a rozměrovou přesnost výlisku, velikost reziduálních napětí ve výrobku, ale také na jejich morfologii, resp. nadmolekulární strukturu (v případě semikrystalických plastů, mezi něž patří např. POM). V souvislosti s touto skutečností vznikla také tato práce, jejímž cílem je zhodnotit vliv teploty taveniny, resp. velikost teplotní tolerance, na topných pásech tavicí komory a trysky vstřikovacího stroje na vlastnosti a krystalizaci polyoxymethylenových dílů airbagové jednotky z výrobního programu firmy TAKATA – PETRI PARTS s.r.o. (viz příloha 1) /1, 2/

2. TEORETICKÁ ČÁST

S ohledem na řešenou problematiku bakalářské práce je v teoretické části rozebrán proces zpracování plastů technologií vstřikování, vliv technologických parametrů, zejména teploty taveniny, apod. Ve vztahu k experimentální části práce je uveden také teoretický rozbor morfologie polymerů a charakteristika polyoxymethylenu.

2.1. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti

Polymery lze klasifikovat do několika skupin, a to jako plasty (viz obr. 2.1) z termoplastů a reaktoplastů (dříve nazývané termosety, duromery a duroplasty) a kaučuky, elastomery a pryže.



Obr. 2.1 Rozdělení plastů /3/

- *termoplasty* – jedná se o druh polymeru přecházející zahříváním do plastického stavu definovaného jako neneutonská tekutina, která se vyznačuje zdánlivou viskozitou. Při jejich zahřívání dochází pouze k fyzikálnímu ději, nikoliv k chemickému procesu, tudíž je lze neomezeně zpracovávat.
- *reaktoplasty* – tyto polymery lze také tvářet, avšak jen omezenou dobu. V první fázi teplotního působení dochází k jejich měknutí, které je následně

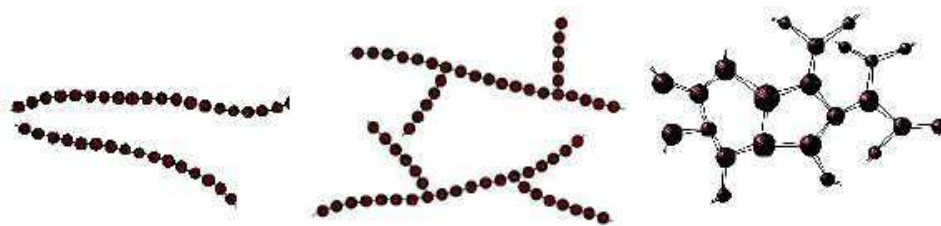
vystřídáno chemickým procesem, při kterém původní nízko hmotnostní molekuly přejdou na tzv. makromolekuly. Tento proces se odborně nazývá vytvrzování. V případě dalšího tepelného zpracování nastane degradace polymeru.

- *kaučuky, elastomery, pryže* – dochází zde podobně jako u reaktoplastů po první fázi zahřívání ke strukturovanému prostorovému zesíťování, které se však v tomto případě nazývá vulkanizace. Makromolekuly se po ukončení působení deformačních sil začnou chovat jako pružiny a vrací elementy do původního tvaru. V případě elastomerů na bázi termoplastů však dochází pouze k fyzikálnímu ději a lze je tedy teoreticky zpracovávat bez omezení.

Výrobní postup plastů se dá rozdělit do několika kroků. Základním z nich je polyreakce, což je syntetická příprava makromolekulární látky, která probíhá mnohonásobným opakováním dané základní reakce. Ke vzniku monomerů, které v tomto případě tvoří základní stavební kámen makromolekulárních látek, slouží jako jedna z hlavních surovin ropa. Molekulová hmotnost makromolekulárních látek je vyšší než 10 000 /4/.

Podle molekulární struktury lze makromolekulární látky rozdělit takto (viz obr. 2.2):

- *lineární* - dochází k tzv. řazení monomerních molekul za sebe. Tyto makromolekuly se mohou následně přiblížit jedna k druhé a zaručit vznik hustšího makromolekulárního uspořádání. Výsledkem toho je výhodná houževnatost, dobrá rozpustitelnost a tavitelnost, a to vše je podpořeno vyšší krystalickou strukturou díky pravidelným prostorovým shlukům.
- *rozvětvené* - jedná se o shodný řetězec jako ve formě lineární, doplněný po stranách bočními větvemi. To má za následek nižší hustotu, tekutost a stupeň krystalinity. Dochází také ke snížení mechanických vlastností, které jsou zapříčiněny sníženými mezimolekulárními silami z důvodu oněch bočních řetězců.
- *zesíťované* - tento typ makromolekul si je možné představit jako prostorovou síť, neboť se jedná o jednu velkou makromolekulu, která je tvořena propojením lineárních a rozvětvených makromolekul. Tavitelnost a rozpustitelnost je zde takřka nulová. Podobně je na tom také rázové namáhání, ovšem výhodou jsou zde vysoká tuhost, tvrdost a odolnost proti zvýšeným teplotám.



Obr. 2.2 Typy polymerních makromolekul

(lineární - vlevo, rozvětvené – uprostřed, zesíťované - vpravo) /5/

Při výrobním procesu může docházet k vzniku homopolymeru, který tvoří chemicky stejné jednotky, vyjma koncových. Anebo může docházet ke vzniku kopolymerů, jež vznikají syntézou dvou nebo více odlišných monomerů. Stručně řečeno, prvopočátkem polyreakce je monomer, což je nízkomolekulární sloučenina, jež vlivem opakujících se chemických reakcí přechází v látku vysokomolekulární, která je nazývána polymer. Docílení polymeru může však nastat třemi způsoby. Jednou z častých reakcí, doprovázejících zejména vznik termoplastů, je polymerace, při níž nevzniká žádný vedlejší produkt a jedná se o rychlou reakci. Tímto způsobem vznikají např. PVC, PE a PP. Druhou reakcí bez vedlejšího produktu je polyadice. Na rozdíl od polymerace je to ale pomalá reakce. Vzniká tak např. PUR či EP. Posledním možným typem polyreakce je polykondenzace. Při této pomalé reakci již vzniká vedlejší produkt, např. v podobě alkoholu nebo vody a lze tuto reakci přerušit a dokončit později. Plastem se však polymer tímto krokem ještě nestává, neboť je třeba ho smísit a smíchat s nezbytnými přísadami a převést ho do formy granulí, tablet, prášku atd., aby ho bylo možné dále technologicky zpracovat. /2, 6/

2.2. Morfologie polymerů

Morfologie je nauka, jež se zabývá nadmolekulární strukturou polymerů, což je v podstatě vnitřní uspořádání, které tvoří objekty od sebe vzdálené v řádech nejméně desítek nanometrů, velikostně převyšující atomový a molekulový stav /7/. Přesněji vzato, pojednává o orientaci makromolekul v materiálu, krystalickém podílu, rozložení a velikosti krystalitů nebo o skin-core efektu, tj. o heterogenitě struktury v průřezu výrobku, který je ve vnitřní vrstvě (v jádru) sférolitický, zatímco jeho povrch způsobující stav napjatosti je bezsférolitický. Výsledná nadmolekulární struktura je dána chemickými a strukturními předpoklady polymeru, ale také kinetickými podmínkami jeho zpracování, zejména ve fázi tuhnutí a chlazení taveniny. V závislosti na uspořádání polymerních řetězců se jedná o amorfni (neuspořádanou) nebo semikrystalickou (částečně uspořádanou) strukturu polymeru. /8, 9/

Amorfni uspořádání lze popsat jako klubko o velikosti 10 – 30 nm tvořené chaoticky propletenými řetězci, též označovanými jako globule, které se mohou za působení smykového napětí rozvinout a sdružit v tzv. svazky /2/. Tomuto rozvinutí se také říká nepravé krystality.

Naopak krystalická struktura může být tvořena dvěma podobami, a to napřímenými nebo skládanými řetězci makromolekul (viz obr. 2.3). Krystal tvořený dlouhými napřímenými řetězci je termodynamicky velmi nevýhodný, a proto vzniká jen výjimečně za určitých laboratorních podmínek. Pokud je polymer schopen krystalizovat a vytvořit semikrystalickou strukturu (viz obr. 2.4), musí dojít k tvorbě krystalizačních zárodků (nukleaci), na nichž následně vznikají krystality (v reálných podmínkách tzv. sférolity) tvořené skládanými řetězci makromolekul a tyto krystality jsou odděleny amorfni strukturou řetězců.

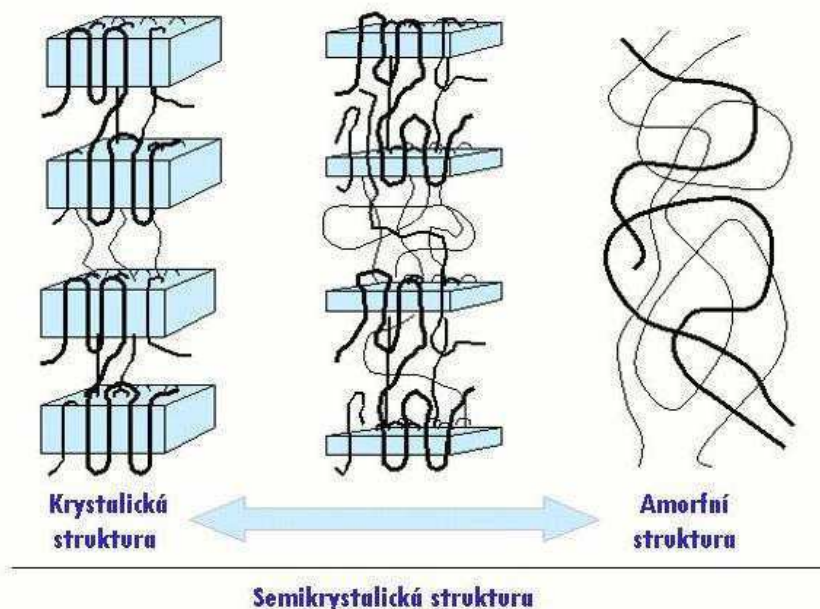


Obr. 2.3 Skládaný řetězec makromolekuly /9/

Obecně lze krystalický stav charakterizovat veličinou nazývanou se krystalinita, viz rovnice (2.1). /8, 9/

$$X = \frac{V_c}{V} = \frac{V_c}{V_c + V_a} \quad [-] \quad (2.1)$$

V	- celkový objem materiálu	$[m^3]$
V_a	- objem amorfni části	$[m^3]$
V_c	- objem krystalické části	$[m^3]$



Obr. 2.4 Nadmolekulární struktura polymerů /10/

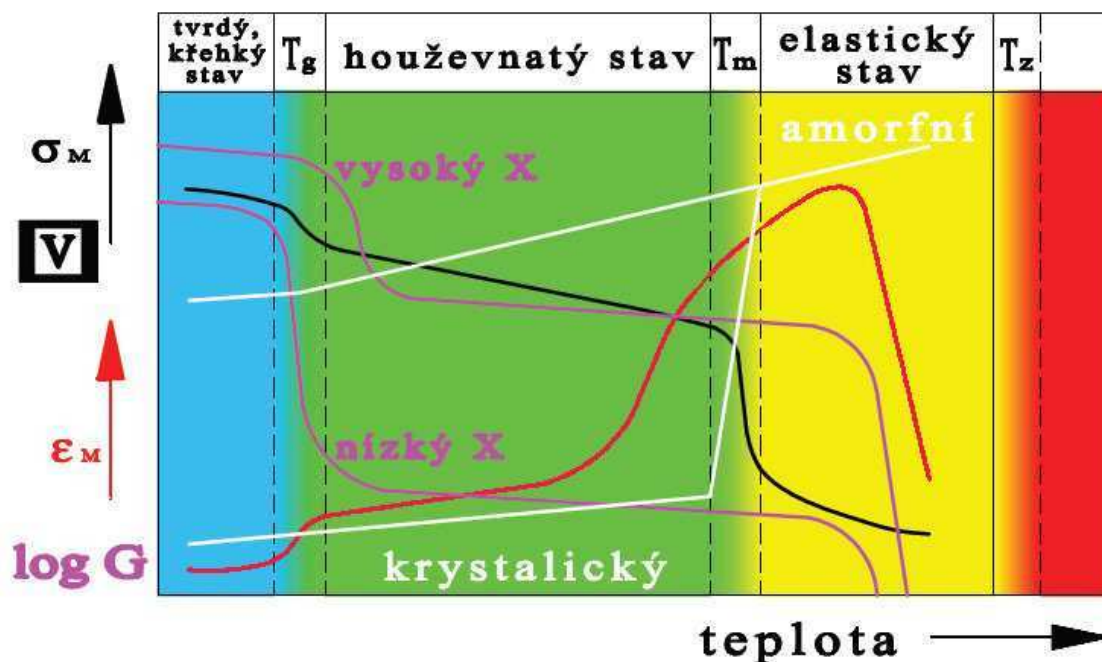
Množství krystalizačních zárodků je určující pro velikost krystalitů (sférolitů), přičemž velká četnost krystalizačních zárodků zaručuje jemnou krystalickou strukturu. Nukleace je

docíleno výhradně při ochlazování taveniny, při které dochází k transformaci fáze v podobě přeměny taveniny na tuhý stav a primární krystalizaci, která probíhá u semikrystalických materiálů pouze mezi teplotami T_m a T_g . Jedná se o úsek mezi teplotou tání a teplotou zesklenní, kde pod teplotou zesklenní je již zabráněno pohybu segmentů v podobě makromolekul díky vzniklé tuhé fázi. V některých případech může pokračovat krystalizace i v tuhém stavu. V tomto případě se hovoří o sekundární krystalizaci, která se může projevovat po dobu několika měsíců. Dále platí, že s růstem krystalického podílu dochází k nárůstu pevnosti, tuhosti a tvarové stálosti za tepla vstřikovaného dílu, avšak také k většímu smrštění výstřiku. /2, 8/

Z hlediska hustoty lze klasifikovat krystalickou oblast jako místo s vyšší hustotou a ztrátou průhlednosti daného výstřiku, oproti oblasti amorfní s těsným uspořádáním krystalických řetězců, které přetrvává i mezi teplotami skelného přechodu a teplotou tání. Amorfni plast je oproti semikrystalickému plastu čirý a průhledný. Toto chování se může projevit pouze u termoplastů, neboť vznik reaktoplastů je možný výlučně s amorfním uspořádáním.

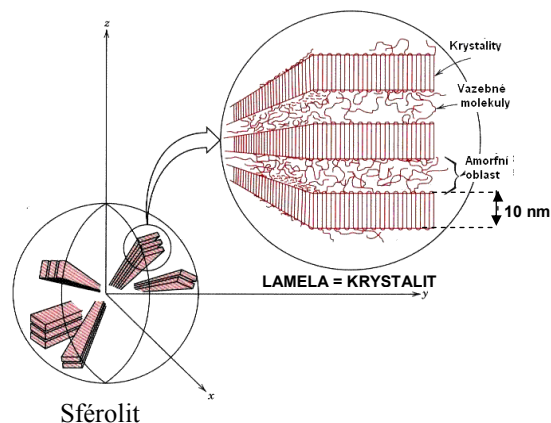
Všeobecně lze říci, že makromolekula je mnohem delší než velikost krystalitů. Základními celky tvořícími polymerní krystalickou strukturu jsou lamely. Jedná se o monokrystalické jednovrstvé útvary tvořené skládanými řetězci, označovanými též jako lamelární krystaly. Vznik krystalických lamel neboli schopnost uložení řetězců v krystalické struktuře je možné odvodit z chemické stavby polymerního krystalického materiálu, z které lze také inferovat teplotu skelného přechodu a tuhost řetězce. Pod teplotou zesklenní jsou krystalické části polymerního řetězce nepohyblivé, pevně zafixované v krystalu, díky čemuž je dosaženo vyššího modulu pružnosti krystalů a od této veličiny odvozené také vyšší tuhosti. To dává důkaz nejen o tom, že krystalické oblasti podporují navýšení modulu pružnosti, ale vysvětluje to i mechanické rozdíly mezi amorfni a krystalickou strukturou (viz obr. 2.5).

Lamely, resp. fibrily jsou morfologické útvary ideálně krystalického polymeru, který lze připravit pouze v laboratorních podmínkách ze zředěného roztoku. V reálných podmínkách chlazení a tuhnutí taveniny vznikají tzv. sférolity (viz obr. 2.6), které svými velikostmi vyplňují prostor o rozměrech od několika mikrometrů až do velikosti milimetrů. Způsob utváření sférolitů, jejich velikost a pravidelnost uspořádání je iniciován skládáním svazků lamel ze společného centra a rozrůstáním se na všechny strany, mnohdy s vrtulovitým stočením. Vše závisí nejen na technologických podmínkách výroby, zejména teplotě formy, ale také na době chlazení, přičemž s vyššími hodnotami dochází ke strukturní homogenitě a růstu sférolitické struktury. V případě vyšší teploty formy dochází k nárůstu krystalického podílu, který může být ještě navýšen prodloužením doby chlazení. /2, 8, 9/



Obr. 2.5 Vlastnosti semikrystalického polymeru v závislosti na teplotním zatížení (σ_M – napětí na mezi pevnosti v tahu, ε_M – poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu, V – objem, G – modul pružnosti ve smyku, T_g – teplota zesklební, T_m – teplota tání, T_z – teplota degradace) /2, 11/

Pozitivní vliv na krystalizaci má rovněž podíl přítomných aditiv neboli nukleačních látek v podobě minerálních plniv, aktivních sazí, apod., které zvyšují počet nukleačních zárodků (heterogenní nukleace) a snižují tak velikost sférolitů. Ideálním stavem jsou drobné, v celém průřezu výstřiku pravidelně uspořádané, se rozkládající sférolity. Rozdílný stupeň krystalinity je patrný dokonce i v určitých tloušťkách vystříknutého dílu. Ve středové vrstvě vystříknutého dílu je krystalinita zpravidla vyšší oproti hodnotám v povrchových vrstvách, neboť při kontaktu povrchové vrstvy se stěnou formy dojde k jejímu ochlazení, což má za následek útlum rozvinutí krystalické struktury v povrchových vrstvách. Ta však může nadále pokračovat ve středu výstřiku, neboť jsou zde výhodné teplotní podmínky taveniny, ovšem s nebezpečím vzniku vnitřního napětí ve výstřiku, na kterém se podílí rozdílný teplotní gradient v průřezu výstřiku a také hustota, která má za následek rozdílné objemové změny. To vše je ovlivňováno zejména rozložením a obsahem krystalické struktury. V případě amorfních polymerů má na potlačení anizotropie vliv vyšší hodnota teploty taveniny a vstřikovací rychlost, neboť tím dochází ke snížení stupně orientace makromolekul ve směru toku. /2, 6, 9/



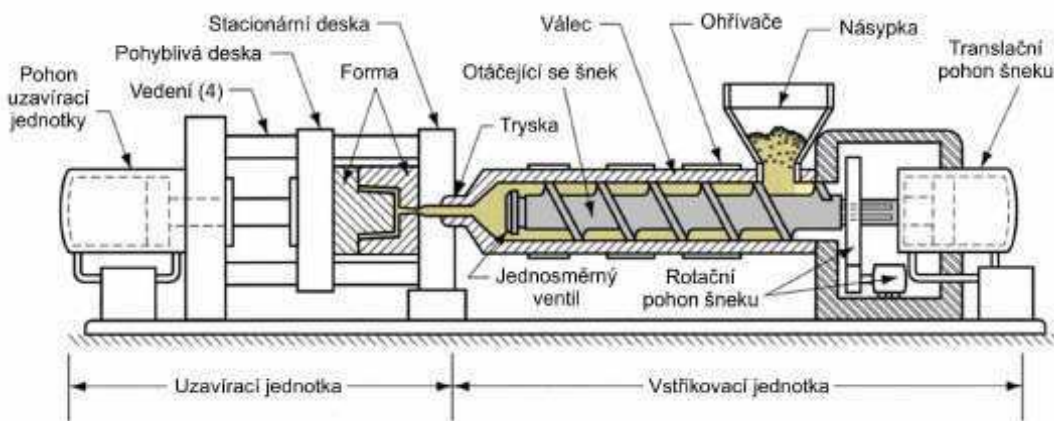
Obr. 2.6 Sférolitická struktura /5/

2.3. Technologie vstřikování

Proces vstřikování, nejrozšířenější technologie na zpracování plastů, zahrnuje rozsáhlé portfolio zpracovatelných materiálů, počínaje téměř všemi druhy termoplastů, dále některými typy reaktoplastů a kaučuků. Vstřikováním lze vyrobit polotovary, které se následně ještě opracovávají, díly určené ke kompletaci v celek anebo velmi přesné díly, které již mají charakter konečného výrobku.

Při procesu vstřikování se plast zpracovává zásadně ve formě granulí. Zejména termoplasty jsou však náchylné na vzdušnou vlhkost, takže je nutné některé granuláty před zpracováním vysušet, obvykle po dobu 3 – 4 hodin, u některých typů nutno i delší dobu. Sušení nemusí být prováděno jedině tehdy, pokud je vstřikovací stroj vybaven odplyňovací tavicí komorou nebo se např. zpracovává polymer, který vykazuje nízkou absorpci vody. Po vysušení je nutné granulát nejpozději do 30 minut zpracovat, neboť hrozí opětovné navlhnutí. /12/

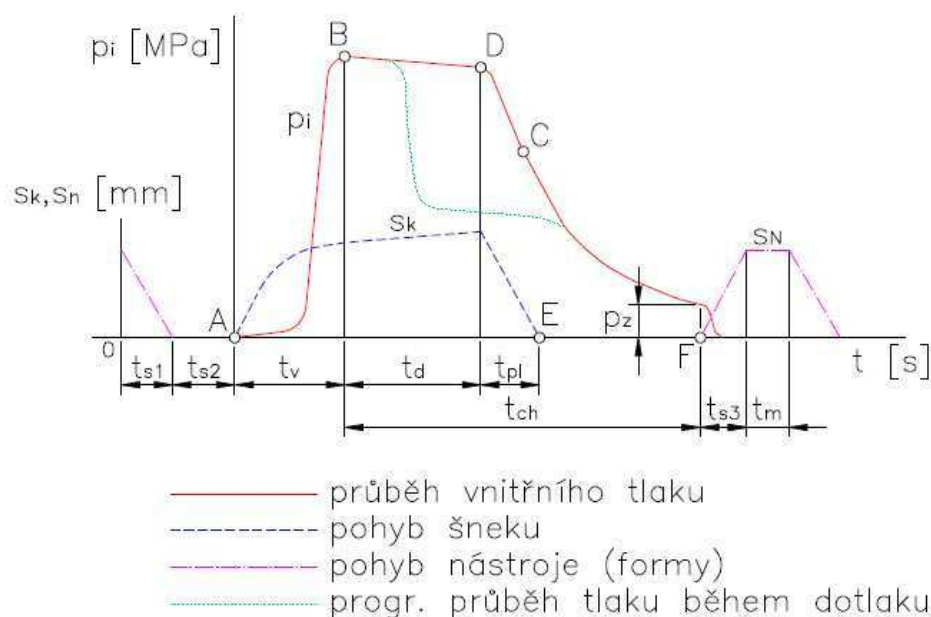
Vstřikování je sled za sebou jdoucích operací, které mají neměnné pořadí. Prvním krokem, jímž by se dalo označit zahájení vstřikování, je uzavření vstřikovací formy. Před tímto krokem je forma otevřená a její dutina je prázdná. Potřebného uzavření formy je docíleno silou F_p , což je přisouvací síla, která působí na pohyblivou (stacionární) desku formy (viz obr. 2.7). Tato síla je ihned po přisunu přibližně 3x navýšena, aby bylo zabráněno otevření formy po vstříknutí taveniny. V tu chvíli se hovoří již o síle uzavírací (F_u). /2/



Obr. 2.7 Zjednodušené schéma vstřikovacího stroje /13/

Mezitím dochází k odebrání granulátu z násypky pohybem šneku v radiálním směru. Současně se šnek pohybuje směrem vzad, díky čemuž je zajištěna doprava materiálu před čelo šneku. Granulát se při tomto procesu začne měnit na taveninu působením tepla z topných zón v tavicí komoře, kterou je temperován přibližně z jedné třetiny, a třením granulátu o stěnu, čímž se získává zbylý $\frac{2}{3}$ podíl potřebného tepla. Po dostatečném hnětení granulátu a získání taveniny s co největším homogenním podílem, kdy obvodová rychlost šneku by neměla být z důvodu vzniku možných komplikací vyšší jak 0,3 m/s, je následně tavenina vstřikována do vstřikovací

formy, kde začne vyplňovat její prostor. Pohyb šneku je v této chvíli zajišťován už pouze axiálně, neboť při větším množství, než je potřebné na jednu vstřikovací dávku, by došlo k nahromadění zpracovávaného materiálu před čelem šneku a následné degradaci materiálu. Při kontaktu taveniny s formou, která se temperuje nejčastěji mezi 20 – 90 °C (výjimečně až na 210 °C v případě PAI), nastane její chladnutí doprovázené vznikem tuhé struktury. Teplota formy má vliv u amorfních polymerů mimo jiné na lesk výstřiku. S větší teplotou formy vzniká lesklejší struktura povrchu. V případě semikrystalických polymerů není rozdíl natolik patrný. Současně s chladnutím taveniny však vzniká ve formě nežádoucí efekt - smrštění (v případě EVA se jedná až o 4 % z celkového objemu), které bývá tím vyšší, čím je vyšší teplota formy. Absolutní hodnota smrštění však v tomto případě nabývá nižších hodnot, zejména minimálním dodatečným smrštěním. Snižít smrštění je možné nejen teplotou formy, ale také vhodnou volbou velikosti a doby dotlaku, který se pohybuje mezi 40 – 60 % vstřikovacího tlaku. S počátkem působení dotlakové fáze nastane současně zmenšení vstřikovací rychlosti na takovou hodnotu, aby tlaková křivka měla plynulý přechod, díky čemuž je dotlačen do formy potřebný materiál k eliminaci objemového smrštění výstřiku ve formě. Optimální doba působení dotlaku (viz obr. 2.8) je stanovována obvykle experimentálně sledováním hmotnosti výstřiku. Šnek se v této fázi vstřikovacího procesu chová jako píst a pohybuje se jen axiálně, ve směru vstřikování taveniny,



Obr. 2.8 Průběh vstřikovacího procesu v dutině formy (p_i - vnitřní tlak [MPa]; p_z - zbytkový tlak [MPa];

s_k - pohyb šneku [mm]; s_n - pohyb nástroje [mm]; t_{s1} - čas potřebný k uzavření formy [s];

t_{s2} - čas potřebný k přisunutí vstřikovací jednotky k formě [s]; t_v - čas plnění dutiny formy [s]; t_d - čas

dotlakové fáze [s]; t_{pl} - čas plastikační fáze [s]; t_{ch} - chladicí čas [s]; t_{s3} - čas potřebný pro otevření

formy [s]; t_m - čas manipulace [s]; A - začátek vstřikování; B - naplnění formy; C - ztuhnutí vtoku;

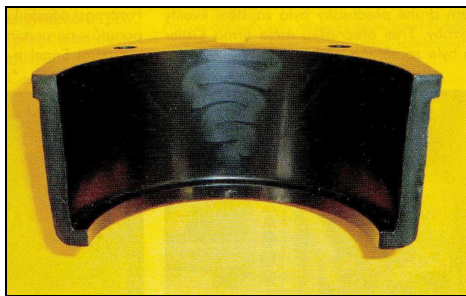
D - konec dotlaku; E - konec plastikace (zastavení šneku); F - začátek pohybu formy) /2/

přičemž v této fázi dodá přibližně 10 % objemu materiálu navíc nutného k vyrovnání objemového smrštění. Z technologického hlediska je nutné počítat se zbylou taveninou před šnekem, které se odborně říká materiálový polštář. V případě velkého zbytkového množství taveniny před šnekem po vstřikovacím cyklu totiž hrozí její degradace. Chladnutí ve formě trvá v řádech sekund, ale třeba i minut dle náročnosti vstřikovaného dílu. Během této operace klesá ve formě tlak, odborně nazývaný ztrátový. V případě nepřipustně vysoké hodnoty zbytkového tlaku hrozí vznik vad způsobených velkým vnitřním napětím. Okamžikem, ve kterém je forma otevřena, dochází k vyhození dílu a celý cyklus se začne opakovat. Mezitím může být podle složitosti a velikosti formy pro vstřikovaný díl, z důvodu potřebného chlazení, již zpracovávána další dávka granulátu do podoby taveniny, což následně vede k urychlení celého vstřikovacího cyklu. Tavicí komora se může v některých případech, kdy dochází k vyhození dílu, odsouvat také. /2, 12/

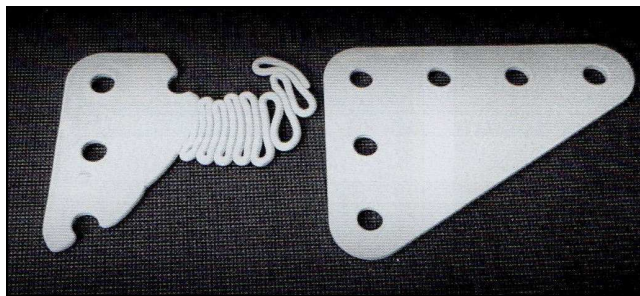
2.4. Vliv teploty taveniny na vady plastových výrobků

Počet běžně se vyskytujících vad při vstřikování termoplastických polymerů je zhruba 40 a u každého typu termoplastu se projevují individuálně. Vady mohou být způsobeny mnoha faktory, počínaje nevhodným polymerem či volbou jeho tvaru, nastavenou technologií, nevhodně zvoleným šnekovým ústrojím nebo opotřebením vstřikovacího stroje, konstrukcí formy apod., což může zapříčinit např. nehomogenní strukturu výstřiku. Tu způsobí nedokonale prohnětený granulát, který vlivem vznikající teploty hnětením a přijímanou teplotou z topných pásem nedokáže vytvořit požadovanou homogenní taveninu. Následky se mohou projevit v podobě tvarových deformací, pevnostních rozdílů a s tím spojenými rozdílnými fyzikálně mechanickými vlastnostmi. Dále budou však probírány pouze vady, které mohly být zapříčiněny teplotou taveniny (s ohledem na problematiku bakalářské práce). Je však třeba zdůraznit, že tyto vady mohou být způsobeny i jinými, výše uváděnými faktory. /14/

Nízká teplota taveniny má za následek zejména vady zjevné - povrchové, které jsou pouhým okem rozpoznatelné. Jedná se např. o viditelný paprsek taveniny, neboli volný proud, tzv. meandrový tok nebo také jetting. Následky volného proudu taveniny lze potlačit dostatečně velkým vtokovým ústím v porovnání se vstřikovaným dílem nebo vhodnějším umístěním vtokového ústí do formy (viz obr. 2.9 a obr. 2.10). Jednou z nejzávažnějších vad, která však může vzniknout a je zapříčiněna nízkou teplotou taveniny, je studený spoj. V případě rozdělení hlavního toku taveniny na dva či více toků se v místě jejich opětovného spojení vytvoří studený spoj (viz obr. 2.11). V podstatě se jedná o nedokonalý svar. Spojení vznikne buď čelní, v tomto případě se jedná o primární studený spoj (viz obr. 2.12), anebo spojení boční, a v tom případě nastane sekundární studený spoj (princip jettingu), který definuje spojení i pro tangenciální svar. Vada studeného spoje se projeví nejen vzhledově, ale také pevnostně. V případě sekundárního



Obr. 2.9 Nevhodné vyústění vtoku /15/

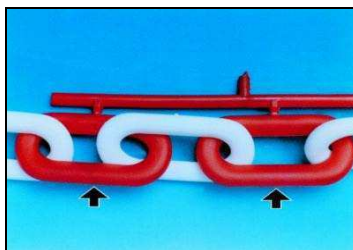


Obr. 2.10 Tvorba volného proudu taveniny /15/

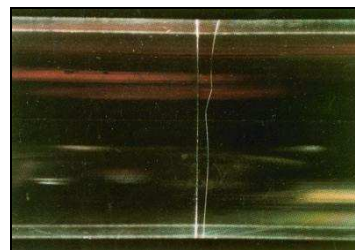
studeného spoje není pevnost však natolik ovlivněna jako při primárním studeném spoji. Amorfní polymery začnou vykazovat značné zeslabení v místě studeného spoje a v některých místech se může vytvořit dokonce i vrub (viz obr. 2.13). Oproti tomu semikrystalické plasty jsou na tom pevnostně výhodněji, dokonce v některých případech dochází k prorůstání sférolitické struktury do místa studeného spoje a potlačení pevnostního zeslabení. Ovšem stále se jedná o vadu. Zamezit vzniku této vady lze zvýšením teploty taveniny, zvýšením teploty formy, optimalizací rychlosti vstřikování, změnou ústí vtoku i za cenu zakomponování jádra, volbou aditiv nebo kaskádovým vstřikováním, které se využívá např. při výrobě dílů automobilového průmyslu. /14/



Obr. 2.11 Stopa v místě studeného spoje /14/



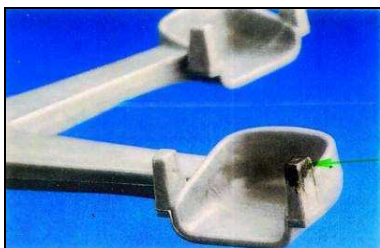
Obr. 2.12 Primární studený spoj /14/



Obr. 2.13 Vruby vzniklé v místě studeného spoje /14/

Vznik studeného spoje může být také zapříčiněn neúměrně vysokou vstřikovací rychlostí a s tím spojeným nedokonalým odvědušením vstřikovací formy. Tímto následně dochází k tzv. dieselefektu (viz obr. 2.14 a obr. 2.15), což je komprimace nahromaděného vzduchu, který se nestihl odsát a způsobuje v místě jeho nahromadění lokální degradaci materiálu nebo dochází přímo k jeho spálení. Na výstřiku vzniknou nedoplněná místa, na kterých mohou být viditelné tmavé, až černé stopy po spálení materiálu. Tomu lze předejít umístěním vtokových kanálů do prostoru vady, přičemž hloubka těchto plochých odvědušňovacích kanálů by neměla být větší než 0,02 mm při jejich minimální délce 20 mm. Problémy s touto vadou spojené se vyskytují zejména u nových forem, které mají neopotřebované lícovací plochy, a také u polymerů s požadavkem na vysokou teplotu formy, jako např. PEI a PSU. Ve spojitosti s touto vadou mohou také vzniknout dutinky, které jsou zapříčiněny malou plastikační dávkou taveniny v kontaktu se šnekem, která z důvodu dlouhého setrvání v tavicí komoře zdegraduje. Projeví se to zejména sníženou houževnatostí, ale také menší pevností a tuhostí vystříknutého dílu.

Tavenina s nízkou teplotou může mít za následek v důsledku neúčinného dotlaku vznik lunkrů (viz obr. 2.16), ale také delaminaci povrchu, nedostříknutí dílu (viz obr. 2.17), efekt gramofonové desky (viz obr. 2.18) atd. /8, 14/



Obr. 2.14 Diesel efekt v důsledku komprese vzduchu /14/



Obr. 2.15 Detail spáleného polymeru /15/

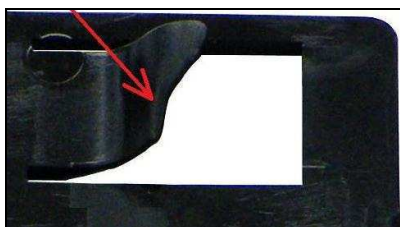


Obr. 2.16 Lunkey (vakuoly) u tlustostěnného výstřiku z PA /8/

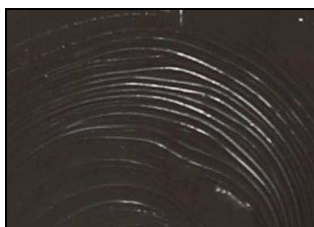
V případě extrémně vysokých teplot může dojít ke vzniku přetoků (viz obr. 2.19), otřepů, přestříků, napěťových trhlinek (viz obr. 2.20) atd. Dále se může projevit již zmiňovaný diesel efekt, který v tomto případě není iniciován studeným spojem, ale vzniká zcela samostatně zapříčiněním vysoké teploty taveniny anebo také nepravidelnost na strukturovaném povrchu, která způsobuje nejen rozdílné vzhledové vlastnosti, ale může mít vliv i na mechanické vlastnosti. Ze vzhledových vad, které jsou zapříčiněny vysokou teplotou taveniny, se mohou projevit např. šmouhy, šlíry, nehomogenita probarvení anebo stříbření (viz obr. 2.21). Přehřátá teplota taveniny se projeví ve formě černých skvrn či pruhů. Může se také projevit drobnými bublinkami (viz obr. 2.22), jež značí stopu po plynných produktech nebo uzavřeném vzduchu. /14, 16/

Všeobecně lze říci, že se účinek zvýšené teploty může u polymerů projevit dvojitým způsobem. V první řadě může dojít k měknutí polymeru a následnému rozrušení makromolekulárního řetězce do té míry, že se polymer začne chovat jako kapalina. V druhém případě dochází ke změně struktury polymeru štěpením na nízkomolekulární produkty bez změn chemického složení, což se označuje jako depolymerace, anebo dochází k destruování neboli odštěpování nízkomolekulárních zplodin. /16/

Přehled nejčastěji vznikajících vad způsobených teplotou taveniny je zobrazen v tab. 2.1.



Obr. 2.17 Nedostříknutý tvar dílu



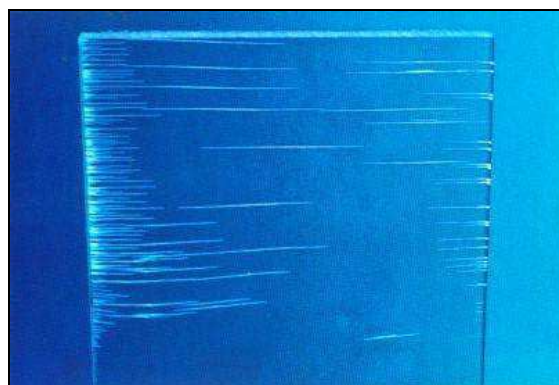
Obr. 2.18 Efekt gramofonové desky



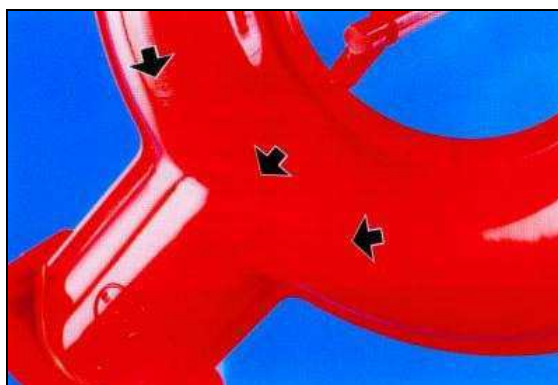
Obr. 2.19 Přetok na výstřiku /17/

Tab. 2.1 Přehled vznikajících vad v důsledku nevhodné teploty taveniny /15, 16/

T _T nízká	T _T vysoká	T _T přehřátá
neúplné výstřiky	přestřiky, přetoky, otřepy	pruhy, černé skvrny
propadliny, staženiny, zvlněný povrch		
delaminace povrchu, stopy po studené tavenině	šmouhy, šlíry, nehomogenita probarvení	
rozdíl v lesku u leštěných povrchů	stříbření, opalescence, napětové trhlinky	
studené tokové linie (proudnice), tokové čáry	nepravidelnost na strukturovaném povrchu	stopy po uzavřeném vzduchu, plyných produktech (drobné bublinky)
vzhled gramofonové desky, pomerančové kůry, jemně rýhovaný povrch		
kresba po volném proudu taveniny (meandrový tok)	dieseľefekt	
studený spoj		



Obr. 2.20 Napětové trhlinky na výstřiku /16/



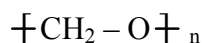
Obr. 2.21 Stříbření /16/



Obr. 2.22 Bublinky vlivem přehřáté taveniny/16/

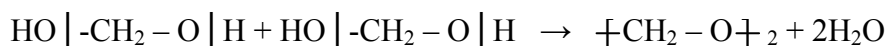
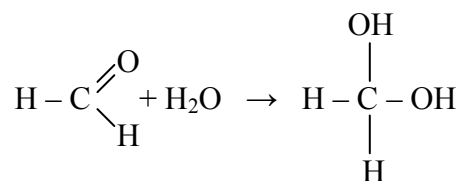
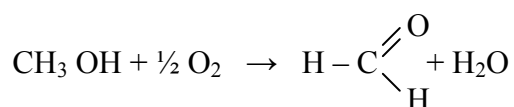
2.5. Charakteristika polyoxymethylen (POM)

Polyoxymethylen, polyacetát nebo také polyformaldehyd (viz obr. 2.23) jsou názvy, které zastupují jeden z nejvíce používaných polymerů patřící do skupiny plastů, jimž jsou nadřazenou skupinou termoplasty. Homopolymer polyoxymethylen byl vyvinut společností DuPont pod označením Delrin v roce 1957, nicméně jeho uvedení na trh následovalo až o tři roky později, v roce 1960. O dva roky později vyvinula firma Celanese derivát v podobě kopolymeru. Výroba polyoxymethylen, jež je znázorněna na obrázku 2.24, se provádí katalyzovanou polymerací formaldehydu nebo stabilnějšího dioxanu. /18/



Obr. 2.23 Chemické označení polyoxymethylen /19/

Jedná se o polymer (viz kapitola 2.1), který lze takřka neomezeně zpracovávat, neboť při jeho zahřívání a následném chladnutí dochází pouze k fyzikálnímu ději, nikoliv ke změnám chemické struktury.



Obr. 2.24 Výrobní postup polyoxymethylen /19/

Struktura polyoxymethylen je krystalická, resp. semikrystalická. Ryze krystalického stavu, tedy stavu, kdy by byl polymer krystalický se 100 % podílem krystalitů, však nelze nikdy dosáhnout, proto je nazýván semikrystalickým. Ze všech plastů má ale i přesto jeden z nejvyšších stupňů krystalické fáze a jeho užité vlastnosti jsou tak značně ovlivněny zpracovatelskými podmínkami, které mají vliv na nadmolekulární strukturu materiálu (morfologii). Skupinu termoplastů POM tvoří v současnosti stovky typů s rozdílnými vlastnostmi použití, vyráběnými mnoha firmami, avšak tvořených stejným základem. /12, 20/

Polyoxymethylen je relativně tvrdý ($E = 2800$ až 3500 MPa), pevný ($\sigma_M = 70$ MPa) a odolný vůči únavě materiálu díky značné elasticitě, a to i při nízkých teplotách. Odolnost proti otěru má polyoxymethylen spolu s polyamidy nejvyšší ze všech termoplastů. Tažnost se pohybuje mezi 10 – 14 %. Do teplot -40°C je vrubová houževnatost takřka stále stejná, přičemž při -50°C nastává teplota křehnutí. Polyoxymethylen vyniká velmi dobrými kluznými vlastnostmi, malým krípem a dobrou rozměrovou stálostí. Hustota je $1,42 \text{ g/cm}^3$, což je střední

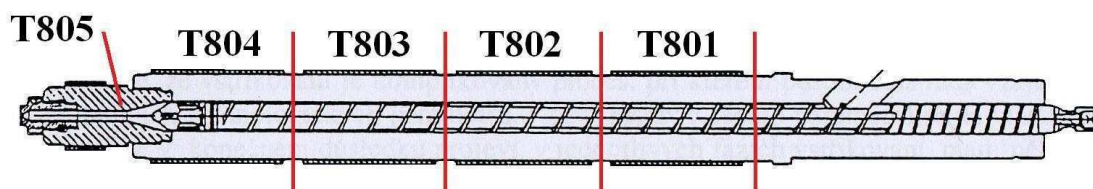
hodnota v porovnání s ostatními polymerními materiály. Je středně navlhavý s nepatrnou absorpcí vody. V čistém stavu má přirozeně mléčnou barvu a jeho barvitelnost je velice dobrá, avšak průsvitnosti či průhlednosti nelze dosáhnout. Polárními vlastnostmi se řadí polyoxymethylen mezi PE a PVC, tedy mezi slabě polární polymery a je tak výhodným elektrickým izolantem. Proti rozpouštědlům, olejům, benzínům, alkoholům je polyoxymethylen velmi dobře odolný, dokonce proti organickým rozpouštědlům mají vyšší odolnost pouze už jen formaldehydy. Zásadám, oxidačním činidlům, horké vodě a silným kyselinám již tak dobře neodolává a mají za následek rozklad polyoxymethyleny. Proti záření a povětrnostním vlivům je jeho odolnost také malá. Hoření lze charakterizovat stupněm č. 3 (hoří pomalu), dle ASTM D 635. Patrný je zvolna se zvětšující modrý plamen, který po odstranění z ohniska dále hoří odkapávajícími hořícími kapkami. Současně přitom silně zapáchá formaldehydem. /4, 7, 12/

Maximální povolený obsah vlhkosti v granulátu je $< 0,15 \%$ z celkového obsahu a doba sušení by neměla trvat déle než čtyři hodiny při maximální sušící teplotě 120°C . S vyšším obsahem vlhkosti hrozí štěpení makromolekul. V průběhu vstřikování je nutno dbát na velikost smrštění, která je u POM jedna z největších ($1 - 3,5 \%$). Vedle citlivosti na smrštění a horší tekutosti je také POM náchylný na teplotní stabilitu, díky čemuž je doporučováno používat stoupající teplotní profil tavicí komory. Tím se zabrání nežádoucí tepelné degradaci, která má za následek žloutnutí materiálu. Eliminovat tento nežádoucí efekt lze temperací poslední topné zóny válce na teplotu $185 - 215^\circ\text{C}$. Nad teplotou 220°C již dochází k rozkladu polyoxymethyleny na formaldehyd /21/. Teplota vody v chladicím okruhu zóny vstupu materiálu do válce by měla být mezi $35 - 45^\circ\text{C}$ a teplota formy v hodnotách $80 - 120^\circ\text{C}$. Výhodné je také použít trysku s lichoběžníkovým ústím, neboť při odsunu nedochází tolik k vytékání materiálu, k čemuž jsou krystalické materiály v čele s polyoxymethylenem náchylné. Výrobky jsou při dodržení těchto podmínek krátkodobě použitelné do teploty 120°C a trvale do 95°C , ve vodě však platí omezení do 65°C kvůli sklonu k hydrolyze. Tvarově stále jsou výrobky v rozmezí teplot 85 až 100°C . /4, 7, 12/

Zejména díky svým mechanickým a zpracovatelským vlastnostem, jak bylo zmíněno výše, je polyoxymethylen vhodný pro konstrukční aplikace. Zpracovává se zejména vstřikováním, ale také vyfukováním, vytlačováním a méně ve formě folií a desek. Vstřikováním z něho lze vyrobit tělesa palivových modulů, kloubové čepy řízení, tlačítka, ozubená kola, kliky dveří automobilů, vačky, plováky karburátorů, nábytkové kování a mnoho dalšího. Cenné uplatnění tohoto materiálu můžeme vidět například také v ložiskách pro pásové dopravníky, které nevyžadují díky svým kluzným vlastnostem dodatečné mazání. Tento fakt je významným faktorem i při použití v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. V případě dvoukomponentního vstřikování se jako jediná možnost po technologické stránce volí kombinace s PBT nebo PET /22/. Vyfukováním se pak vyrábí různé typy lahví a nádob, vytlačováním vznikají například trubky pro přepravu ropy, apod. /4, 7, 18/

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

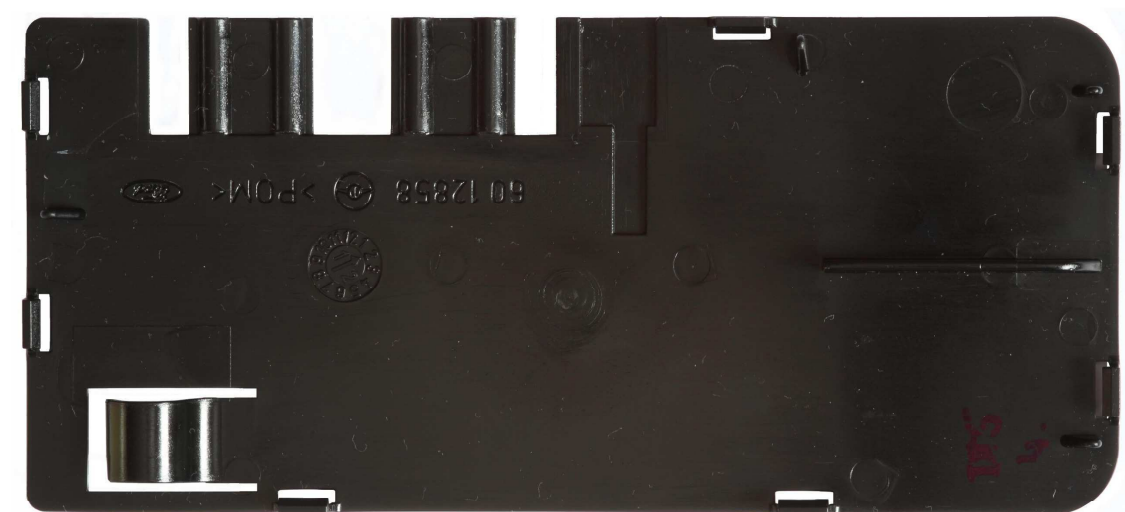
Cílem experimentálního měření bakalářské práce bylo zhodnotit vhodnost tolerančního pole teploty taveniny, resp. temperačních zón tavicí komory (viz technologický předpis nastavení vstřikovacího stroje, příloha 2) při vstřikování konstrukčního dílu z polyoxymethylenu (označení dílu 960 12 858.10.01) ze sestavy Ford DEW 98 960 13 979.99.01 ve vztahu k jeho výsledné kvalitě. V průběhu experimentu byly v oblasti temperačních zón tavicí komory (viz obr. 3.1) nastaveny teploty v předepsané toleranci $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (viz kap. 3.1). Výsledná kvalita výstřiků byla vzhledem k aplikaci, ale také tvarové a rozměrové geometrii dílu hodnocena analýzou mechanických vlastností při ohybovém a rázovém namáhání a také studiem morfologie výstřiků (nadmolekulární struktury) prostřednictvím stupně krystalinity metodou diferenční snímací kalorimetrie a širokoúhlou difrakcí záření X.



Obr.: 3.1 Vstřikovací jednotka s vyznačenými topnými zónami

3.1. Výroba dílů

Ve výrobním závodě firmy TAKATA – PETRI PARTS s. r. o. v Dolní Kalné byl k experimentálnímu měření vybrán díl výrobního označení 960 12858.10.01 (viz obr. 3.2) pro uskladnění elektroniky, tvořící sestavu airbagové jednotky (viz obr. 3.3). Jednalo se o výrobu dílů vstřikováním ze středně viskozního granulátu POM Ultraform S2320 003 black (viz tab. 3.1).



Obr. 3.2 Vstřikovaný díl s označením 960 12 858.10.01 určený k experimentu



Obr. 3.3 Airbagová jednotka sestavy Ford DEW 98 960 13 979.99.01

Tab. 3.1 Technické údaje zpracovávaného granulátu POM Ultraform® S2320 003 /20/

POM Ultraform® S2320 003 POM BASF			
Reologické vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Objem. index toku taven. (190 °C; 2,16	1,1	cm/min	ISO 1133
Výrobní smrštění ve směru rovnoběžném	2,1	%	ISO 294-4, 2577
Výrobní smrštění ve směru kolmém	2,1	%	ISO 294-4, 2577
Mechanické vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Modul pružnosti v tahu	2700	MPa	ISO 527-1/-2
Mez kluzu	65	MPa	ISO 527-1/-2
Poměrné prodloužení na mezi kluzu	9	%	ISO 527-1/-2
Poměrné prodloužení při přetržení	28	%	ISO 527-1/-2
Křipový modul v tahu (1 h)	1900	MPa	ISO 899-1
Křipový modul v tahu (1000 h)	1300	MPa	ISO 899-1
Rázová houževnatost Charpy (+23 °C)	180	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Rázová houževnatost Charpy (-30 °C)	170	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Vrubová houževnatost Charpy (+23 °C)	5,5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Vrubová houževnatost Charpy (-30 °C)	5	kJ/m ²	ISO 179/1eA

Pokračování tabulky 3.1

Tepelné vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Teplota tání (10 °C / min)	167	°C	ISO 11357-1/-3
Teplota průhybu při zatížení (1,80 MPa)	100	°C	ISO 75-1/-2
Teplota průhybu při zatížení (0,45 MPa)	156	°C	ISO 75-1/-2
Teplota měknutí dle Vicata (50 °C / h 50N)	150	°C	ISO 306
Koeficient délkové roztažnosti	110	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1/-2
Hořlavost	HB	třída	IEC 60695-11-10
Testovaná tloušťka	1,6	mm	IEC 60695-11-10
UL uznání	UL	-	-
Hořlavost	HB	třída	IEC 60695-11-10
Testovaná tloušťka	0,8	mm	IEC 60695-11-10
UL uznání	UL	-	-
Kyslíkové číslo	15	%	ISO 4589-1/-2
Elektrické vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Relativní permitivita (100 Hz)	3,8	-	IEC 60250
Relativní permitivita (1 MHz)	3,8	-	IEC 60250
Dielektrický ztrátový činitel (100 Hz)	10	tg δ * 10 ⁴	IEC 60250
Dielektrický ztrátový činitel (100 Hz)	50	tg δ * 10 ⁴	IEC 60250
Vnitřní rezistivita	10 ¹³	Ω * m	IEC 60093
Povrchový odpor	10 ¹³	Ω	IEC 60093
Elektrická pevnost	40	kV/mm	IEC 60243-1
Srovnávací sledovací index	600	-	IEC 60112
Další vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Nasákavost	0,8	%	viz ISO 62
Navlhavost	0,2	%	viz ISO 62
Hustota	1400	kg/m ³	ISO 1183
Podmínky přípravy zkušebn. těles vstřikov.	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Teplota taveniny	200	°C	ISO 294
Teplota formy	90	°C	ISO 10724
Vstřikovací rychlost	200	mm/s	ISO 294
Doporučené technologické parametry	Hodnota	Jednotka	
Teplota sušení materiálu	100	°C	
Doba sušení materiálu	3	hod.	
Teplota taveniny	190 - 230	°C	
Teplota formy	60 - 120	°C	
Teplota vyjímání výstřiku	110	°C	

Výroba dílů spočívala v nastavení, jak již bylo zmíněno, rozdílných teplot taveniny, resp. temperačních zón tavicí komory (viz tab. 3.2) na vstřikovacím stroji Arburg 270 CMD (viz obr. 3.4), tj. teplot T801 – T804, kterými se označuje temperace tavicí komory a teploty T805, kterou je označen temperační okruh vstřikovací trysky.

Při experimentálním měření byl vstřikovací stroj, resp. topné zóny stroje (při zachování ostatních technologických parametrů na konstantní hodnotě) nastaven na hodnoty teplot dolní tolerance (- 25 °C, označení DT), standardní hodnoty teplot T801 až T805 (označení S)



Obr. 3.4 Vstřikovací stroj Arburg 270 CMD ve výrobním závodě v Dolní Kalné

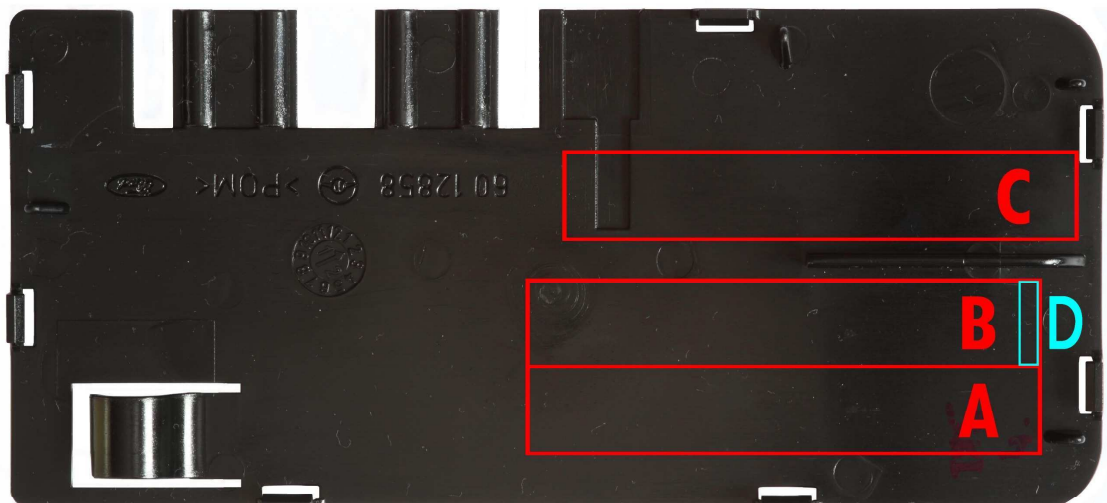
a následně na hodnoty horní tolerance (+ 25 °C, označení HT). Pro hodnocení tolerančního pole byly vstřikovány také zkušební tělesa s nastavením teplot v zónách T801 až T805 na hodnotách mezi dolní tolerancí a standardními hodnotami (označení Z, viz tab. 3.2). Každá tato šarže byla vyrobena v počtu kusů deset. Vstřikované díly byly po vyrobení uskladněny a kondicionovány v prostředí 23/50 dle ČSN EN ISO 291.

Tab. 3.2 Temperace topných zón dle jednotlivých šarží

Temperační zóna	Teplota šarží v temperačních zónách – T [°C]			
	DT	Z	S	HT
T801	165	170	190	215
T802	170	175	195	220
T803	170	175	195	220
T804	175	180	200	225
T805	180	185	205	230

3.2. Tvarová příprava zkušebních těles

Pro hodnocení mechanických vlastností a nadmolekulární struktury výstřiků byla připravena zkušební tělesa (viz příloha 3 až příloha 6) v souladu s mezinárodními standardy (viz obr. 3.5). Před samotným vytvořením zkušebních těles byl nutný vhodný výběr míst, odkud budou pracovní tělesa odebrána a následně mechanicky obrobena na požadované rozměry v souladu s ČSN EN ISO 2818. Při výběru míst k zhotovení zkušebních těles byly sledovány základní požadavky, tj. nemohlo být použito místo s ústím vtoku, neboť zde jsou nejvíce znatelné rozdíly v chlazení výstřiku a jedná se o oblast s výrazným vnitřním napětím. Dále nebylo přípustné použít oblasti, v kterých by byly stopy po vyhazovačích (s ohledem na možné rozdíly vnitřního napětí výstřiku), oblasti se změnou tvaru či jakýmkoliv pevnostním profilem, který se na výstřiku nacházel. Po vyzkoušení možných variant odebrání těles byl jako nejvhodnější zvolen postup vyříznutí netolerovaných polotovárů, které byly následně mechanicky obrobena na požadované rozměry.



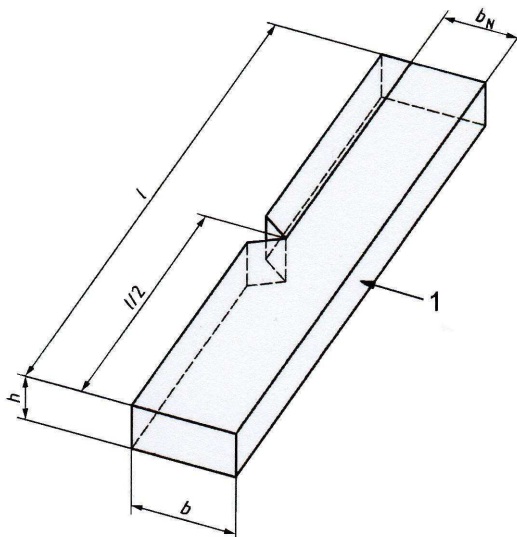
Obr. 3.5 Fotografie zkoumaného dílu před jeho obrobením s vyznačenými místy odběru jednotlivých zkušebních těles (A - místo odběru zkušebního tělesa pro stanovení vrubové houževnatosti Charpy; B – místo odběru zkušebního tělesa pro určení stupně krystalinity pomocí rentgenové difraktometrie; C – místo odběru zkušebního tělesa pro ohybovou zkoušku; D – místo odběru zkušebního tělesa pro DSC metodu odebíraného z tělesa B)

3.3. Stanovení mechanických vlastností

Mechanické vlastnosti byly stanoveny na zkušebních tělesech odebraných z výstřiků dle kap. 3.2. S ohledem na aplikaci dílu, ale také jeho geometrii předurčující tvarové možnosti zkušebních těles, resp. jejich velikost, byla výsledná kvalita dílů v závislosti na teplotě taveniny hodnocena stanovením ohybových a rázových vlastností metodou Charpy dle mezinárodních standardů ČSN EN ISO 178 a ČSN EN ISO 179-1 s dohodnutou odchylkou v rozměrech těles v případě stanovení ohybových vlastností.

3.3.1. Stanovení vrubové houževnatosti Charpy

Rázová, nebo také vrubová houževnatost Charpy je metoda, která posuzuje houževnatost nebo také jinak křehkost materiálu, v mezích daných podmínkami zkoušky, která je vhodná pro široké spektrum materiálů s rozdílnými vlastnostmi. S ohledem na vysokou rázovou houževnatost materiálu a technické vybavení laboratoře bylo k experimentálnímu měření vlivu teploty taveniny na houževnatost výstřiku z POM použito metody stanovení vrubové houževnatosti. Podstatou zkoušky je umístění tělesa opatřeného vrubem na podpěry zařízení a jeho přeražení úderem rázového kladiva, přičemž směr rázu je veden středem vzdálenosti mezi podpěrami na užší stranu (viz obr. 3.6), proti vrubu. Zaznamenána je energie vynaložená při rázu a zjištěn typ přeražení.



Obr. 3.6 Zkušební těleso pro vrubovou houževnatost Charpy s vyznačeným směrem rázu
(l – směr působení rázu, b – šířka zkušebního tělesa, b_N – šířka zkušebního tělesa pod vrubem,
 l – délka zkušebního tělesa) /23/

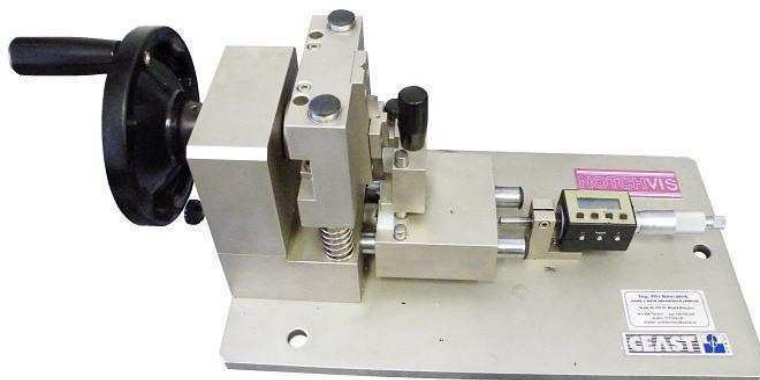
Pro tuto zkoušku byl vybrán vzorek odebraný z místa A (viz obr. 3.5), který se jevil jako nejvhodnější, neboť měřená tělesa pro tuto zkoušku nesmí obsahovat povrchové vady, jako například propadliny, vrypy, či přetoky a rozměrové nerovnosti ve tvaru povrchu. Součástí požadavků je také kondicionace vzorků. Ta musí probíhat po minimální dobu 88 h a to za podmínek $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a současně v relativní vlhkosti $(50 \pm 5) \%$, dle normy ISO 291.



Obr. 3.7 Charpyho kladivo Ceast Resil 5.5

Rázová (vrubová) houževnatost byla prováděná na zařízení Ceast Resil 5.5 (viz obr. 3.7), osazeného kladivem o energetické velikosti 0,5 J a rychlosti kladiva $(2,90 \pm 0,29) \text{ m/s}$. Po aplikování Charpyho kladiva na první vzorek, na kterém byla ověřena teorie o tom, že by se neměl vzorek bez vrubu zlomit, díky jeho výrazné houževnatosti, byly následně všechny

zkušební tělesa o šířce $(10,0 \pm 0,2)$ mm a délce $(80,0 \pm 2)$ mm opatřeny vrubem typu A s poloměrem kořene vrubu 0,25 mm (přednostní typ vrubu). Vruby byly zhotoveny na mechanické vrubovačce Ceast s mikrometrem (viz obr. 3.8) a to tak, aby hloubka pod vrubem byla $(8 \pm 0,2)$ mm dle ISO 179-1. /23/



Obr. 3.8 Vrubovací zařízení Ceast s mikrometrem

Po uvolnění kladiva došlo k přeražení tělesa, a to typem přeražení C, jenž je úplné. Následně byla odečtena z rázového kladiva Ceast Resil 5.5 energie potřebná k přeražení zkušebního tělesa, vypočtena vrubová houževnatost a_{cA} (viz rovnice 3.1) a obě tyto veličiny byly zaznamenány do tabulek 3.3 až 3.6.

$$a_{cA} = \frac{E_C}{h \times b_N} \times 10^3 \quad [\text{kJ/m}^2] \quad (3.1)$$

a_{cA}	- vrubová houževnatost Charpy	[kJ/m ²]
E_C	- energie spotřebovaná při přeražení tělesa	[J]
h	- tloušťka zkušebního tělesa	[mm]
b_n	- šířka zkušebního tělesa pod vrubem	[mm]

Tab. 3.3 Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti pro dolní toleranci teploty taveniny

DÍL ŠARŽE	E_C [J]	h [mm]	b_n [mm]	a_{cA} [kJ/m ²]
DT 1 – A	0,085	2,75	8,00	3,86
DT 2 – A	0,143	2,75	8,00	6,50
DT 3 – A	0,153	2,75	8,00	6,96
DT 4 – A	0,135	2,75	8,00	6,14
DT 5 – A	0,163	2,75	8,00	7,41
DT 6 – A	0,142	2,75	8,00	6,46
DT 7 – A	0,131	2,75	8,00	5,96
DT 8 – A	0,093	2,75	8,00	4,23
DT 9 – A	0,139	2,75	8,00	6,38
DT 10 – A	0,133	2,75	8,00	6,10
DT – průměr	$a_{cA} = 6,00 \pm 1,12$			

Tab. 3.4 Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti šarže teploty taveniny zvolené

DÍL ŠARŽE	E_C [J]	h [mm]	b_n [mm]	a_{cA} [kJ/m ²]
Z1 – A	0,150	2,75	8,00	6,82
Z2 – A	0,128	2,75	8,00	5,82
Z3 – A	0,133	2,75	8,00	6,05
Z4 – A	0,145	2,75	8,00	6,59
Z5 – A	0,134	2,75	8,00	6,09
Z6 – A	0,132	2,75	8,00	6,00
Z7 – A	0,132	2,75	8,00	6,00
Z8 – A	0,087	2,75	8,00	3,96
Z9 – A	0,150	2,75	8,00	6,82
Z10 – A	0,135	2,75	8,00	6,14
Z – průměr	$a_{cA} = 6,03 \pm 0,77$			

Tab. 3.5 Výsledky zkoušky vrubové houžev. pro standardní toleranci teploty taveniny

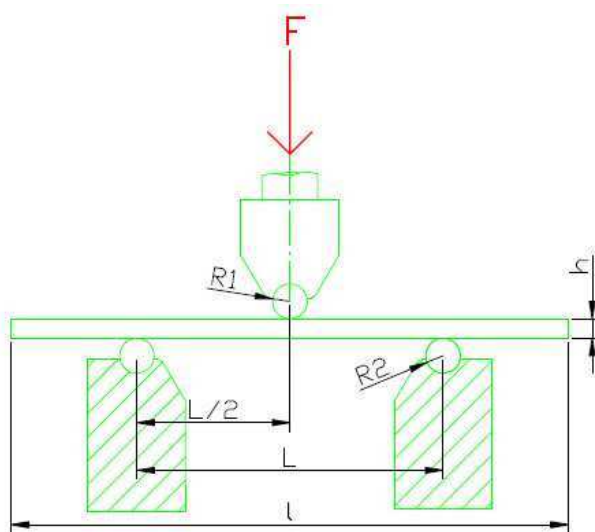
DÍL ŠARŽE	E_C [J]	h [mm]	b_n [mm]	a_{cA} [kJ/m ²]
S1 – A	0,148	2,75	8,00	6,73
S2 – A	0,147	2,75	8,00	6,68
S3 – A	0,135	2,75	8,00	6,14
S4 – A	0,141	2,75	8,00	6,41
S5 – A	0,137	2,75	8,00	6,23
S6 – A	0,143	2,75	8,00	6,50
S7 – A	0,184	2,75	8,00	8,36
S8 – A	0,158	2,75	8,00	7,18
S9 – A	0,158	2,75	8,00	7,18
S10 – A	0,130	2,75	8,00	5,91
S – průměr	$a_{cA} = 6,73 \pm 0,67$			

Tab. 3.6 Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti pro horní toleranci teploty taveniny

DÍL ŠARŽE	E_C [J]	h [mm]	b_n [mm]	a_{cA} [kJ/m ²]
HT1 – A	0,156	2,75	8,00	7,16
HT2 – A	0,149	2,75	8,00	6,84
HT3 – A	0,137	2,70	8,00	6,34
HT4 – A	0,137	2,70	8,00	6,34
HT5 – A	0,155	2,70	8,00	7,18
HT6 – A	0,123	2,75	8,00	5,64
HT7 – A	0,165	2,70	8,00	7,64
HT8 – A	0,165	2,70	8,00	7,64
HT9 – A	0,132	2,70	8,00	6,11
HT10 – A	0,148	2,70	8,00	6,85
HT – průměr	$a_{cA} = 6,77 \pm 0,63$			

3.3.2. Stanovení ohybových vlastností

Ohybová zkouška dle ČSN EN ISO 178 (tříbodový ohyb) je mechanickou zkouškou pro tělesa obdélníkového průřezu a normovaných rozměrů. Metoda se používá ke zjišťování chování zkušebních těles při namáhání ohybem a pro stanovení pevnosti v ohybu, modulu pružnosti v ohybu a případně dalších závislostí mezi napětím a deformací za definovaných podmínek. Postupem zkoušky je zatěžování zkušebního tělesa uprostřed přitlačným trnem, volně podepřeného dvěma podpěrami (viz obr. 3.9) tak dlouho, dokud se zkušební těleso nezlomí na svém vnějším povrchu nebo do smluvního průhybu. Zkušební tělesa jsou staticky zatěžována konstantní silou s rychlostí deformace (1 %/min) při metodě A dle ISO 178 nebo konstantní silou s rozdílnými rychlostmi (1 %/min pro dosažení modulu pružnosti v ohybu nebo 5 %/min, či 50 %/min dle tažnosti materiálu) pro metodu B.



Obr. 3.9 Poloha zkušebního tělesa na začátku ohybové zkoušky (F - ohybová síla [N],
 h - tloušťka zkušebního tělesa [mm], L - rozpětí mezi podpěrami při ohybové zkoušce [mm],
 l - délka zkušebního tělesa [mm], $R1$ - poloměr zatěžovací trnu ohybové zkoušky [mm],
 $R2$ - poloměr podpěr při ohybové zkoušce [mm])

Pro experimentální měření byla z hotových výstřiků mechanicky obrobena zkušební tělesa s ohledem na geometrii výstřiku v dohodnuté odchylce těles, resp. v šířce zkušebních těles (oproti odst. 6.1.3 předpisu ČSN EN ISO 178), viz obr. 3.5, pozice C. Zkušební tělesa o délce (80 ± 2) mm, tloušťce do 3 mm (odpovídající tloušťce stěny výstřiku) a šířce $(10 \pm 0,2)$ mm, namísto $(25 \pm 0,5)$ mm, která přísluší tělesům s tloušťkou do 3 mm, byla umístěna na podpěry s rozpětím 44 mm (dle odst. 8.2 předpisu ČSN EN ISO 178) a uprostřed zatěžována trnem konstantní rychlostí 2 mm/min do maximální hodnoty napětí (vzhledem k houževnatosti dílu nebylo dosaženo lomu těles). Poloměr zatěžovacího trnu činil ($R1 = 5 \pm 0,2$) mm a poloměr podpěr ($R2 = 2 \pm 0,2$) mm. Tyto hodnoty poloměrů odpovídají mezinárodnímu standardu. Měření bylo prováděno při standardním prostředí 23/50 dle ČSN EN ISO 291 na zařízení

Hounsfield H10KT (viz obr. 3.10) s měřicí hlavou 500 N (přesnost 0,5 % působící síly v oblasti 2% až 100%), spojeného s počítačem zaznamenávající sílu působící na zkušební těleso a jeho výsledný průhyb (s), resp. napětí v závislosti na deformaci tělesa (viz příloha 7 až příloha 10). Z grafických závislostí napětí na deformaci byla stanovena pevnost v ohybu (viz rovnice 3.2) a modul pružnosti v ohybu dle rovnice 3.3. Pro každou teplotu taveniny, resp. teplotní podmínky na temperačních zónách tavicí komory, bylo vždy hodnoceno v souladu s mezinárodním předpisem pět zkušebních těles. Výsledky zkoušek jsou přehledně zaznamenány do tab. 3.7 až tab. 3.10. /24/



Obr. 3.10 Hounsfield H10KT
propojený s počítačem

$$\sigma_{fM} = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times h^2} \quad [\text{MPa}] \quad (3.2)$$

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad [\text{MPa}] \quad (3.3)$$

σ_{fM}	- pevnost v ohybu	[MPa]
E_f	- modul pružnosti v ohybu	[MPa]
F	- použitá síla	[N]
L	- rozpětí mezi podpěrami	[mm]
b	- šířka zkušebního tělesa	[mm]
h	- tloušťka zkušebního tělesa	[mm]
ε_{f1}	- deformace ohybem při průhybu s_1	[%]
ε_{f2}	- deformace ohybem při průhybu s_2	[%]
σ_{f1}	- napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f1} = 0,0005$	[MPa]
σ_{f2}	- napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f2} = 0,0025$	[MPa]

Tab. 3.7 Výsledky ohybové zkoušky pro dolní toleranci teploty taveniny

DÍL ŠARŽE	σ_{f1} [MPa]	σ_{f2} [MPa]	σ_{fM} [MPa]	E_f [MPa]
DT 1 - C	2,714	7,600	96,3	2443,0
DT 2 - C	2,842	7,540	95,3	2349,0
DT 3 - C	2,674	7,490	95,7	2408,0
DT 4 - C	2,767	7,560	95,9	2396,5
DT 5 - C	2,742	7,570	95,9	2414,0
DT - průměr	$\sigma_{fM} = 95,8 \pm 0,7$			
	$E_f = 2402,1 \pm 30,7$			

Tab. 3.8 Výsledky ohybové zkoušky šarže teploty taveniny zvolené

DÍL ŠARŽE	σ_{f1} [MPa]	σ_{f2} [MPa]	σ_{fM} [MPa]	E_f [MPa]
Z1 - C	2,769	7,420	94,7	2325,5
Z2 - C	2,783	7,570	95,0	2393,5
Z3 - C	2,769	7,420	94,7	2325,5
Z4 - C	2,769	7,310	94,7	2270,5
Z5 - C	2,769	7,420	94,0	2325,5
Z - průměr	$\sigma_{fM} = 94,6 \pm 0,3$			
	$E_f = 2328,1 \pm 39,03$			

Tab. 3.9 Výsledky ohybové zkoušky pro standardní teploty taveniny

DÍL ŠARŽE	σ_{f1} [MPa]	σ_{f2} [MPa]	σ_{fM} [MPa]	E_f [MPa]
S1 - C	2,812	7,420	93,3	2304,0
S2 - C	2,714	7,060	93,1	2173,0
S3 - C	2,610	6,960	92,7	2175,0
S4 - C	2,727	7,200	92,2	2236,5
S5 - C	2,672	7,120	91,5	2224,0
S - průměr	$\sigma_{fM} = 92,6 \pm 0,7$			
	$E_f = 2222,5 \pm 48,1$			

Tab. 3.10 Výsledky ohybové zkoušky pro horní toleranci teploty taveniny

DÍL ŠARŽE	σ_{f1} [MPa]	σ_{f2} [MPa]	σ_{fM} [MPa]	E_f [MPa]
HT1 - C	2,663	7,140	90,0	2238,5
HT2 - C	2,829	7,580	95,4	2375,5
HT3 - C	2,749	7,220	93,6	2235,5
HT4 - C	2,917	7,700	95,4	2391,5
HT5 - C	2,893	7,520	92,8	2313,5
HT - průměr	$\sigma_{fM} = 93,5 \pm 2,5$			
	$E_f = 2310,9 \pm 65,7$			

3.4. Stanovení stupně krystalinity

Teplota taveniny je významným technologickým parametrem, který společně s teplotou formy, ale také dobou chlazení ovlivňuje více či méně krystalickou strukturu semikrystalických plastů a jejím prostřednictvím také konečné fyzikálně mechanické vlastnosti výstřiků. Jak již bylo uvedeno v rešeršní části bakalářské práce, morfologie (uspořádání makromolekul na nadmolekulární úrovni) je dána strukturními předpoklady každého polymeru (zejména molekulovou strukturou), ale také kinetickými podmínkami ve fázi chlazení a tuhnutí výstřiku. Z tohoto důvodu je pro kompletní posouzení vlivu teploty taveniny na mechanické vlastnosti výstřiku provedena rovněž studie vlivu teploty taveniny na obsah krystalického podílu, který by byl příčinou případných rozdílů hodnocených vlastností výstřiků. Pro hodnocení obsahu krystalického podílu v polymeru je použito dvou fyzikálních metod užívaných ke studiu morfologie polymerů: nepřímé metody pomocí diferenční snímací kalorimetrie (změna, resp. zvýšený obsah krystalického podílu se projevuje růstem entalpie tání vzorků) a difrakce záření X v oblasti velkých úhlů, tzv. širokoúhlová difrakce (přímá metoda).

3.4.1. Aplikace diferenční snímací kalorimetrie (DSC)

Diferenční snímací kalorimetrie patří do skupiny termoanalytických metod. Pracuje na principu zjišťování dodávaného a odebíraného tepla při daném teplotním programu. Celý princip spočívá v tom, že referenční vzorek je spolu se zkoumaným vzorkem ohříván nebo ochlazován a to konstantní rychlostí. V průběhu experimentálního měření se zaznamenává rozdíl tepelného příkonu pro zkušební a referenční vzorek, potřebný k udržení nulového teplotního rozdílu. Referenční vzorek je tzv. etalonem, neboť s jeho známou tepelnou závislostí tepelné kapacity je posuzován zkušební vzorek. Výstupem měření je grafický záznam závislosti rozdílu tepelného příkonu (potřebný k udržení izotermních podmínek) na teplotě. Z DSC termogramu lze získat informace o přechodových teplotách polymeru (teplotě zesklenní, teplotě tání a teplotě krystalizace), kvantitativní údaje o teplech fázových přeměn, jakož i změně krystalického podílu (ze změny tepla tání) v důsledku technologických parametrů zpracování polymeru, apod. /25/

Experimentální měření bylo prováděno na přístroji DSC 6 firmy Perkin Elmer opatřeným rovněž intracoolerem (chladičem) Minichiller CC. Z jednotlivých výstřiků v závislosti na teplotě taveniny byl pomocí rotačního mikrotomu (viz obr. 3.11) odebrán polymerní vzorek o hmotnosti ca. 7,3 mg (s ohledem na skutečnost, že výsledky měření jsou mimo jiné ovlivněny metodickými faktory, je dodržována zásada shodnosti ve velikosti navážky vzorku a rychlosti ohřevu) a to vždy ve shodném místě výstřiku dle obr. 3.5, pozice D.

Zkušební vzorek byl následně vložen do hliníkového kelímku (s ohledem na minimalizaci tepelného spádu a tepelné kapacity) a spolu s víčkem zalisován (viz obr. 3.12) a poté společně s

referenčním kelímkem vložen do měřících cel kalorimetru (viz obr. 3.13) a podroben ohřevu konstantní rychlostí 10 °C/min z počáteční teploty 25 °C na 190 °C (viz tab. 3.11), resp. následnému chlazení za shodných podmínek zpět na teplotu 25 °C. S ohledem na zamezení oxidativní degradace vzorku bylo měření provedeno v inertní atmosféře dusíku, která navíc zajistí odvod plyných produktů, které mohou vznikat při zahřívání vzorků a ovlivnit průběh měření.



Obr. 3.11 Rotační mikrotom

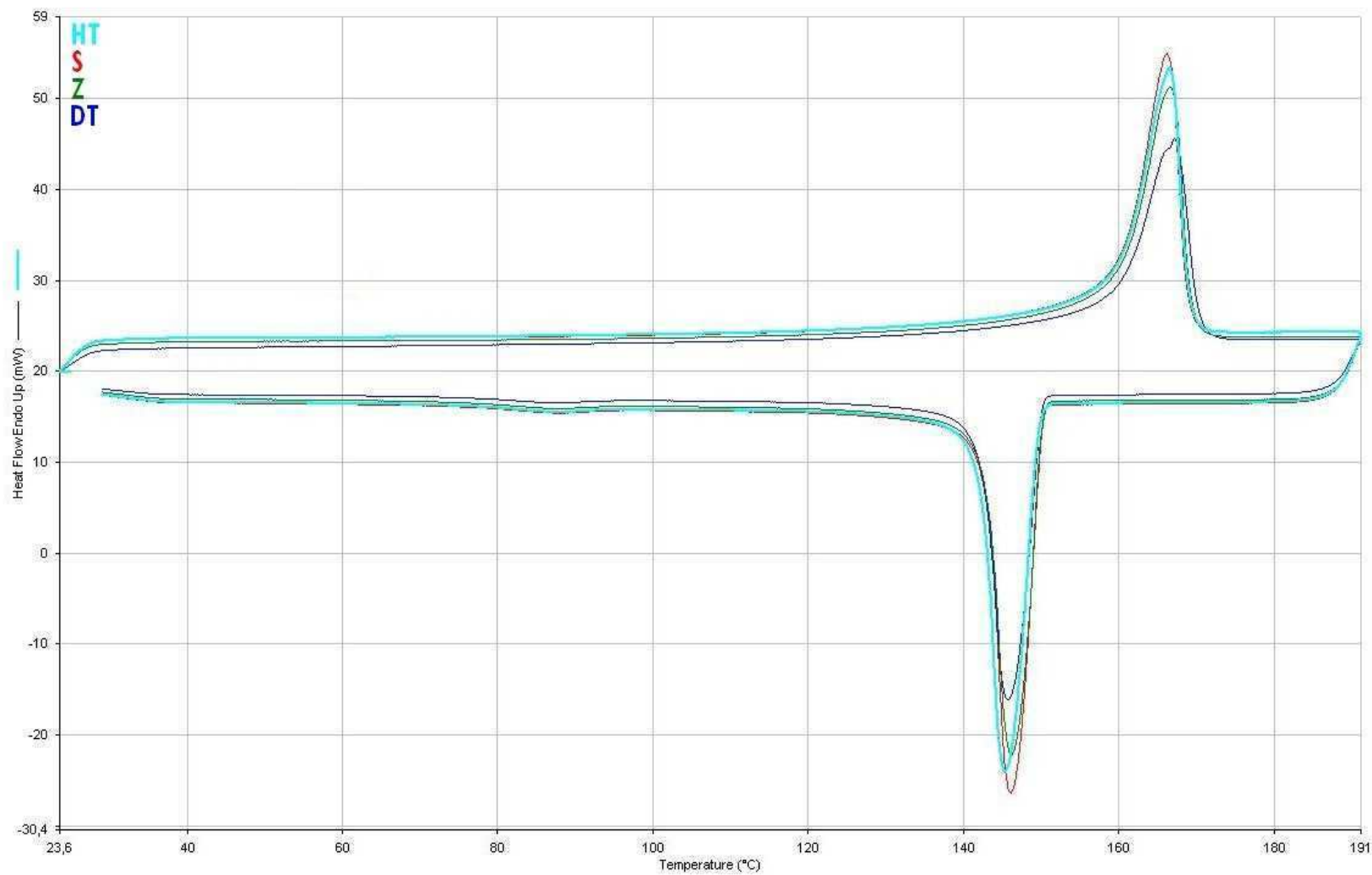


Obr. 3.12 Zalisovaný vzorek (1 dílek = 1mm)

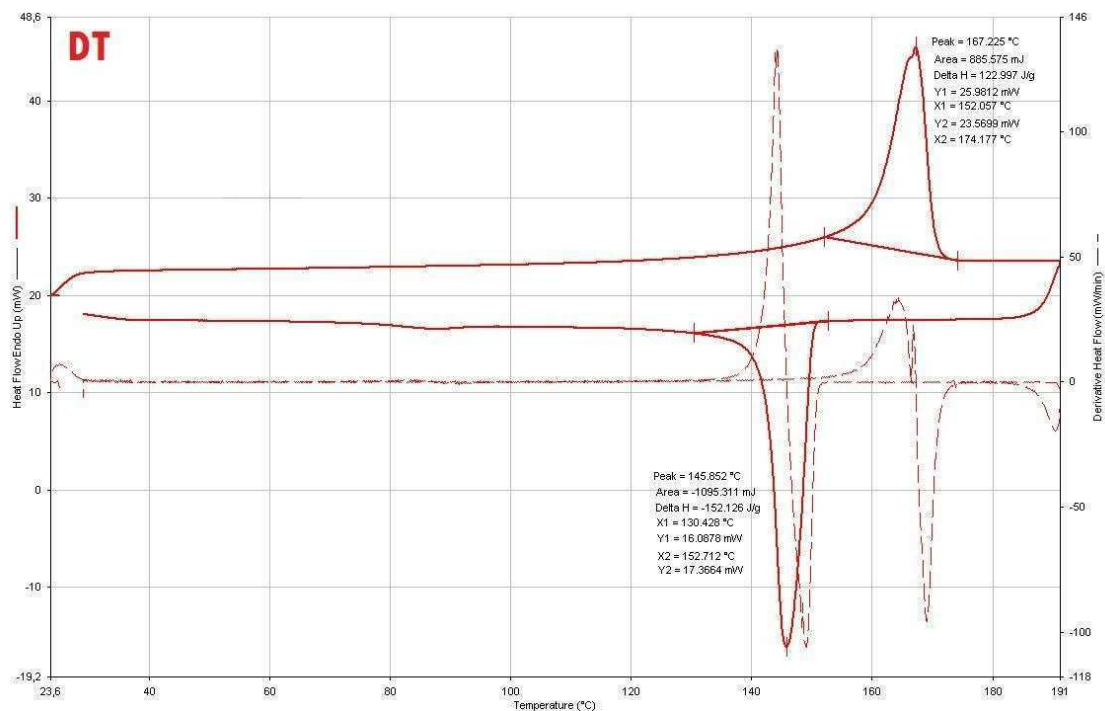
Ze záznamů tepelných toků v závislosti na teplotě (viz obr. 3.14 až obr. 3.18) byly vzhledem k zaměření této práce vyhodnoceny pouze fázové přeměny vzorků v oblasti endotermního maxima (tání materiálu) prostřednictvím entalpie tání (plocha pod maximem, viz tab. 3.12), jejichž případná změna poskytuje informace o rozdílu v obsahu krystalického podílu vzorku, který lze teoreticky získat z rovnice (3.4), tj. z hodnot podílu entalpie tání semikrystalického polymeru a entalpie tání čisté krystalické fáze. /26/

Tab. 3.11 Podmínky experimentálního měření metodou DSC dle ČSN EN ISO 11357-1

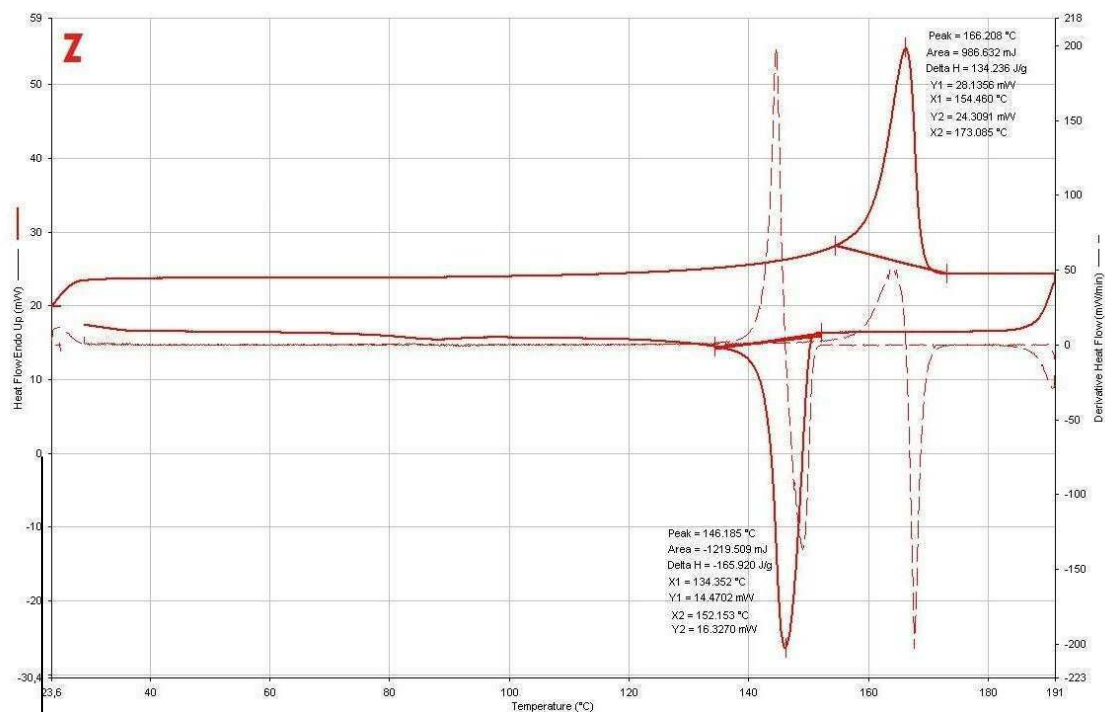
Hodnoty	Šarže			
	DT	Z	S	HT
rychlost ohřevu (lineární)	lineární 10 °C/min			
teplotní rozsah ohřevu	25 °C až 190 °C			
rychlost ochlazování	lineární 10 °C/min			
teplotní rozsah chlazení	190 °C až 25 °C			
hmotnost vzorku [mg]	7,20	7,35	7,35	7,30
měřicí zařízení	DSC 6 Perkin Elmer, chladič Minichiller CC			
atmosféra	inertní (dusík)			



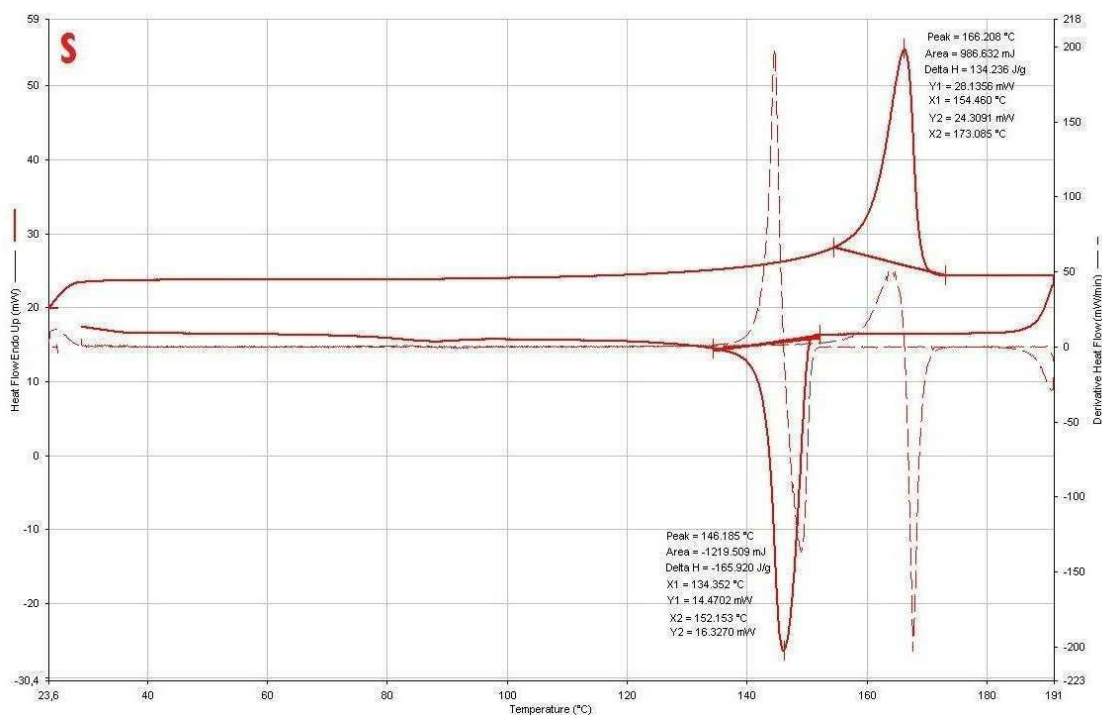
Obr. 3.14 Záznam difference tepelných toků z POM Ultraform S2320 003 v závislosti na teplotě taveniny



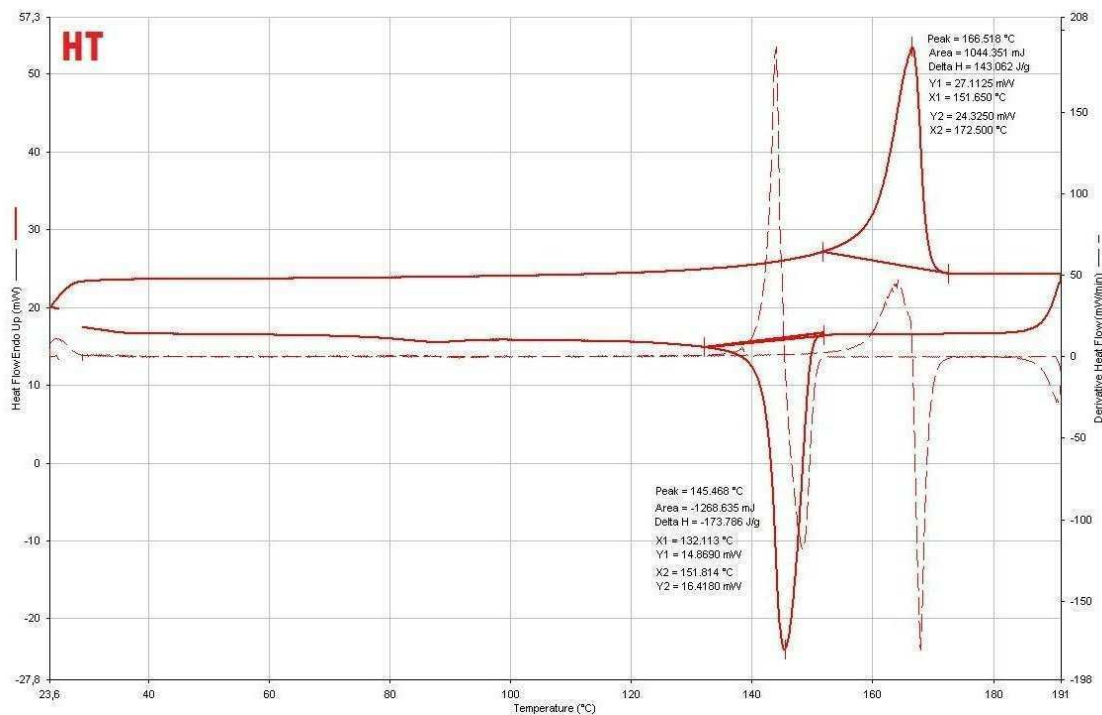
Obr. 3.15 DSC termogram výstřiku z POM Ultraform S2320 003 pro teplotu taveniny v dolní toleranci



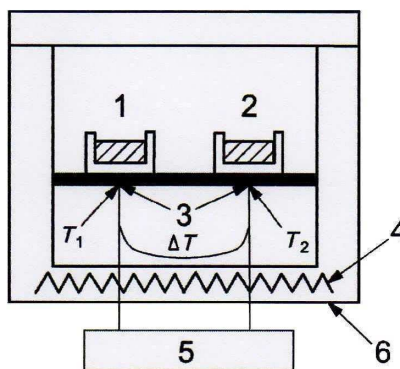
Obr. 3.16 DSC termogram výstřiku z POM Ultraform S2320 003 pro teplotu taveniny v šarži zvolené



Obr. 3.17 DSC termogram výstřiku z POM Ultraform S2320 003 pro teplotu taveniny standardních hodnot



Obr. 3.18 DSC termogram výstřiku z POM Ultraform S2320 003 pro teplotu taveniny v horní toleranci



Obr. 3.13 Schéma znázorňující základní principy DSC s tepelným tokem (1 – stanoviště zkušební vzorku, 2 – referenční stanoviště, 3 – termočlánky, 4 – topné těleso, 5 – měřicí obvod pro T_{vzorku} , T_{ref} a ΔT , 6 – okraj pisky, T_1 – teplota stanoviště zkušební vzorku (T_{vzorku}), T_2 – teplota referenčního stanoviště (T_{ref}), ΔT – teplotní rozdíl mezi stanovištěm vzorku a referenčním stanovištěm)

$$X = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^*} \times 100 \quad [\%] \quad (3.4)$$

X	- stupeň krystalinity	[%]
ΔH_m	- entalpie tání zkoumaného polymeru	[J/g]
ΔH_m^*	- entalpie tání plně krystalického polymeru	[J/g]

Tab. 3.12 Entalpie tání POM v závislosti na teplotě taveniny

ŠARŽE	ΔH_m [J/g]
DT	123,0
Z	131,5
S	134,2
HT	143,1

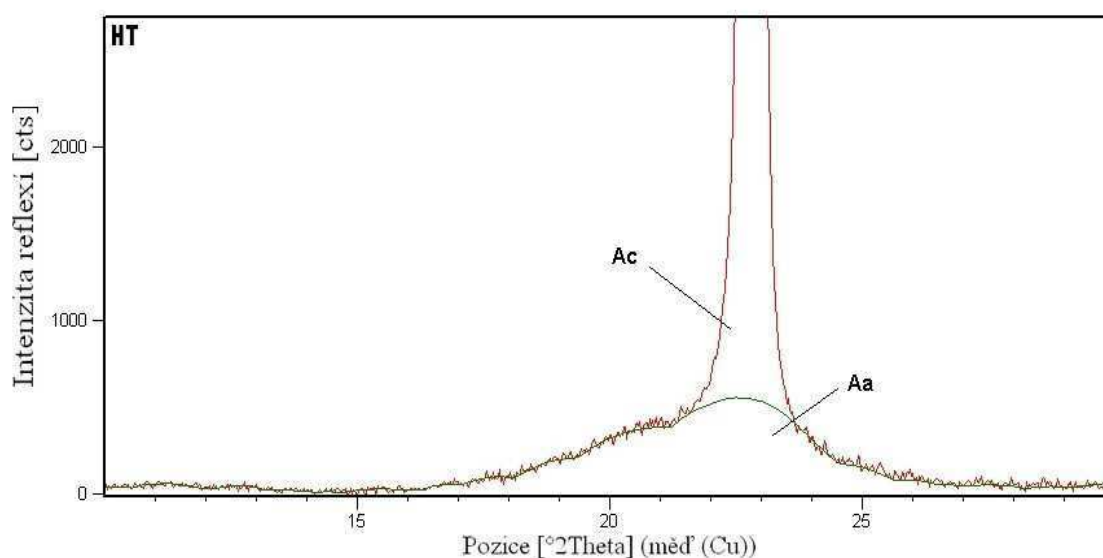
3.4.2. Aplikace rentgenové difraktometrie

Rentgenová difrakce (difrakce záření X) je základní metodou studia uspořádanosti v polymerních systémech. Metoda poskytuje nejen informace o obsahu krystalického podílu, ale také o uložení atomů v základní krystalické buňce, hustotě krystalické fáze, velikosti krystalitů, stupni orientace (vše z běžných reflexí v oblasti velkých úhlů), ale také o rozměrech krystalických lamel a vzdálenostech krystalitů (z tzv. malouhlové difrakce záření). S ohledem na zaměření této práce se vyhodnocování experimentů omezuje na zjištění obsahu krystalického podílu v polymeru v závislosti na teplotě taveniny při jeho vstřikování a to z intenzity krystalických a amorfních reflexí. /27/

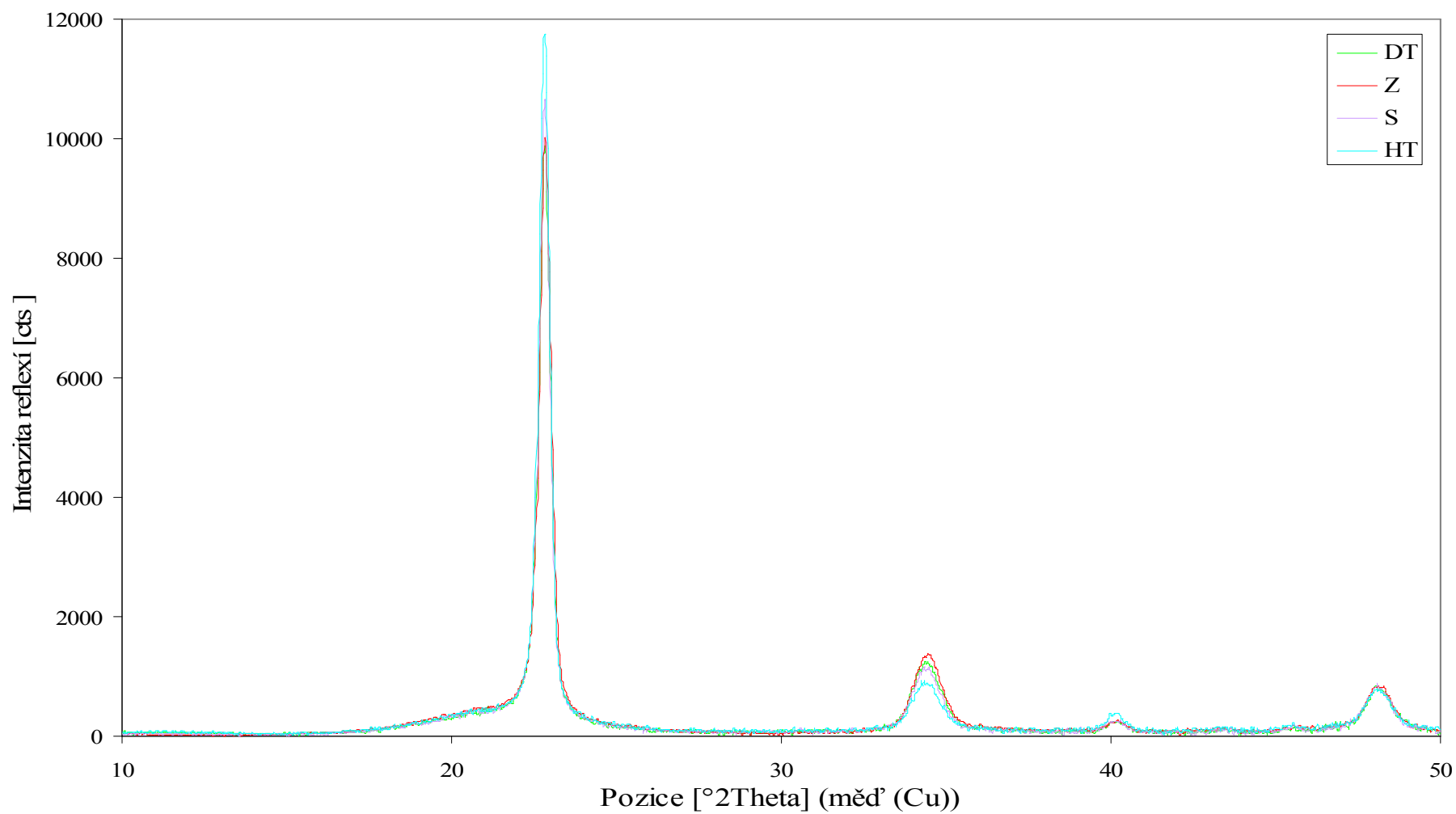
Experimentální měření radiálního rozložení intenzity rozptýleného záření X jako funkce úhlu pro jednotlivé výstřiky z POM v závislosti na teplotě taveniny bylo provedeno ve spolupráci s Ústavem inženýrství polymerů při Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně (dále jen UTB).

Experimentální měření na UTB bylo provedeno na přístroji PANalytical X'Pert PRO (viz příloha 11) s goniometrem theta-theta, zářením $\text{CuK}\alpha$ o vlnové délce 0,1541 nm a polovodičovým detektorem PIXcel. Nastavení clon bylo v hodnotách úhlu $10^\circ - 50^\circ 2\theta$ a krokem $0,0263^\circ$. Doba snímání při každém kroku činila 37,74 s. Pro toto měření bylo zvoleno zkušební těleso B, odebírané z výstřiku dle obr. 3.5. Radiální rozložení intenzity rozptýleného záření X jako funkce úhlu je pro výstřiky POM vyrobeného za různých teplot taveniny uvedeno v tabulce 3.14, přičemž nejvyšší intenzity reflexí se pohybovaly na pozici $22 - 23^\circ 2\theta$. V rámci nastaveného měření byly dále zjištěny ještě další 3 lokality piků.

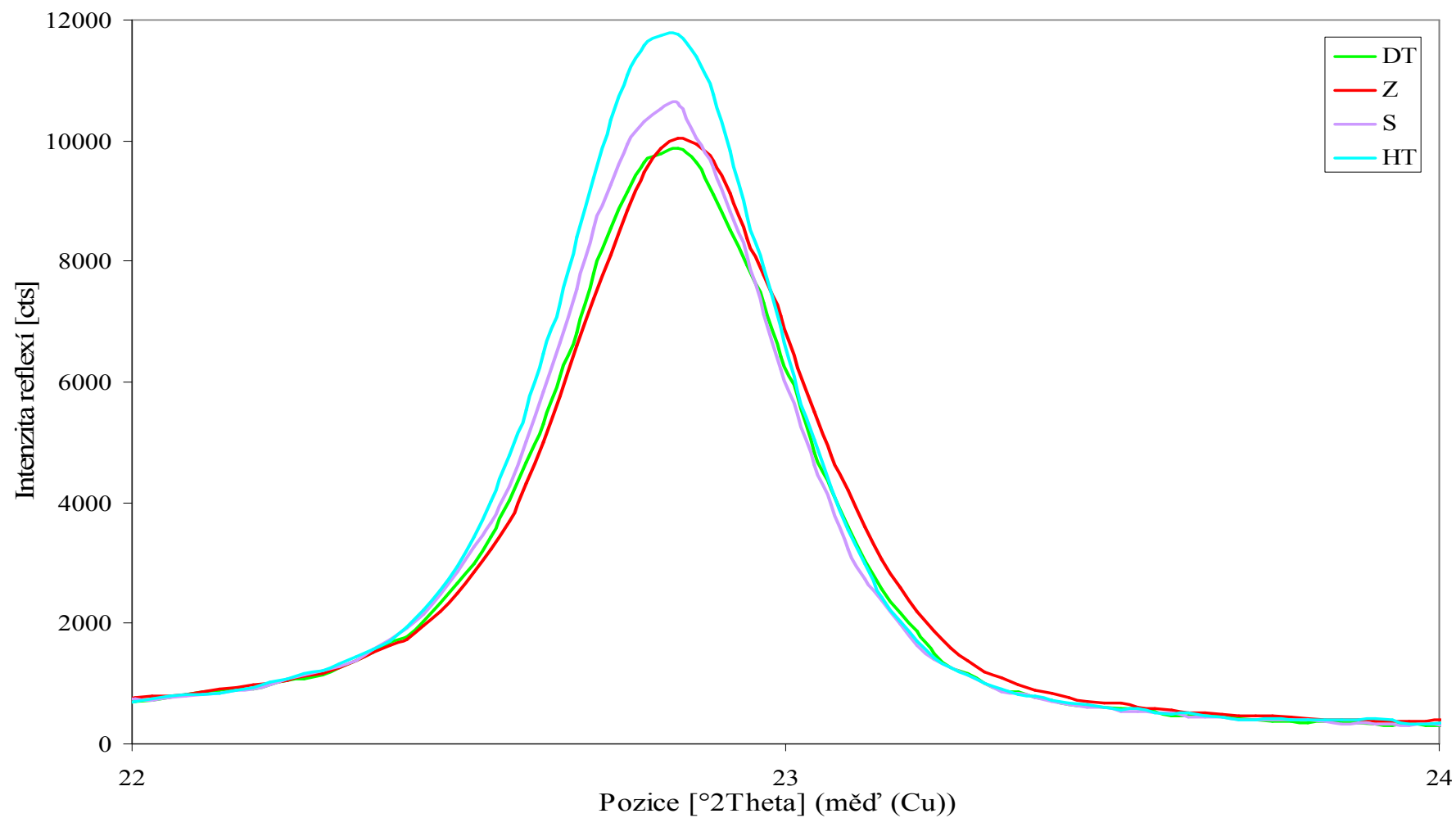
Difraktogram polyoxymethyleny (viz obr. 3.19, resp. obr. 3.20) je složen ze dvou složek. Řada ostrých reflexí odpovídá difrakci na krystalické fázi, zatím co široké, velmi difuznímu amorfárnímu halo, které je dáno rozptylem na nekystalické porušené fázi. Stanovení stupně krystalinity vychází z předpokladu, že intenzita rozptylu paprsku X na jednotce hmoty vzorku je táž u krystalické i amorfární fáze. Vzhledem k rozdílnému charakteru rozptylu na těchto fázích je možno obě složky rozptylu odseparovat [27]. Určení stupně krystalizace bylo tedy nutné vymežit pomocí amorfárního halo (viz obr. 3.21) pro jednotlivé šarže (tj. výstřiky v závislosti na teplotě taveniny). Do výpočtové rovnice stupně krystalizace (3.5) byla společně s hodnotou plochy amorfárního halo dosazena plocha krystalické fáze daného piků nad amorfárním halo (tj. integrální intenzita rozptylu na krystalické fázi). Všechny stupně krystalizace byly měřeny z hodnot na 1. pik. Tato hodnota je obvykle však menší, než skutečný obsah krystalické fáze ve vzorku, protože krystalické reflexe ztrácejí část své intenzity následkem teplotních kmitů atomů a mřížkových poruch.



Obr. 3.21 Amorfární halo v šarži horní tolerance



Obr. 3.19 Rentgenogram všech čtyř šarží při širokouhlém rozptylu záření X



Obr. 3.20 Detail 1. piků všech čtyř šarží při širokoúhlém rozptylu záření X

Tab. 3.14 Tabulka zjištěných piků a jim příslušející intenzita reflexí

ŠARŽE	Pík	Pozice [°2Th.]	I _c [cts]
DT	1	22,807	9789,27
	2	34,392	1165,34
	3	40,175	164,55
	4	48,122	697,61
Z	1	22,824	9816,09
	2	34,418	1310,15
	3	40,139	141,82
	4	48,113	687,03
S	1	22,796	10386,33
	2	34,378	1082,47
	3	40,146	136,63
	4	48,085	679,94
HT	1	22,796	11697,40
	2	34,369	786,25
	3	40,129	214,51
	4	48,091	553,41

$$X = \frac{A_c}{A_c + A_a} \times 100 \quad [\%] \quad (3.5)$$

A_a - plocha amorfního halo [cts x °2Theta]

A_c - plocha piků krystalické fáze [cts x °2Theta]

Tab. 3.13 Stupeň krystalizace jednotlivých šarží

ŠARŽE	X [%]
DT	60,9
Z	57,7
S	61,0
HT	62,7

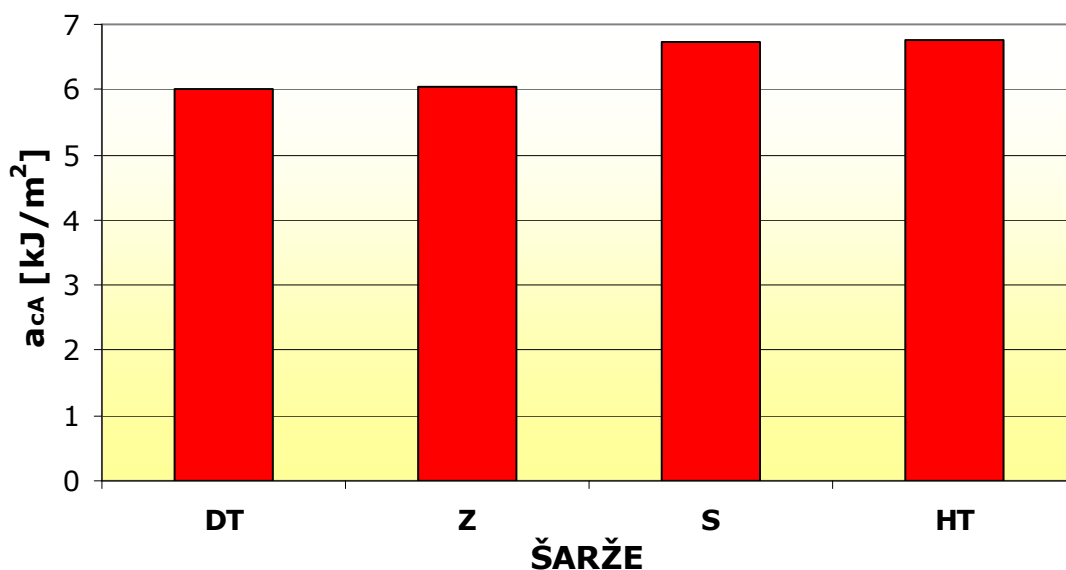
4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE

Záměrem této bakalářské práce bylo ověření technologických podmínek výroby polyoxymethylenového výstřiku z produkce firmy TAKATA – PETRI PARTS s. r. o. s výrobním označením 960 12 858.10.01. Posuzovaným faktorem byla teplota taveniny, která se ve výrobních podmínkách může pohybovat v intervalu $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (viz protokol nastavení vstřikovacího stroje, příloha 2). Teplota taveniny je jedním z technologických faktorů, který může mít vliv na fyzikálně mechanické nebo tvarové vlastnosti výstřiků. Vliv teploty taveniny, resp. vhodnost přípustného intervalu teplot tavicí komory a trysky vstřikovacího stroje na kvalitu výstřiků byla posuzována hodnocením jejich rázových i ohybových vlastností a stupněm krystalinity (metodou DSC a rentgenové difrakce záření X).

4.1 Vyhodnocení vrubové houževnatosti Charpy

Vrubová houževnatost Charpy byla stanovena a hodnocena na zkušebních tělesech v souladu s ČSN EN ISO 179-1 metodou se směrem rázu na užší stranu. Pro zkoušku bylo vybráno zkušební těleso v místě A (viz obr. 3.5) opatřené přednostním normovaným vrubem (typ A) v počtu kusů deset pro každou šarži. Výsledné hodnoty jsou graficky zobrazeny na obr. 4.1, resp. v tab. 3.3 až tab. 3.6.

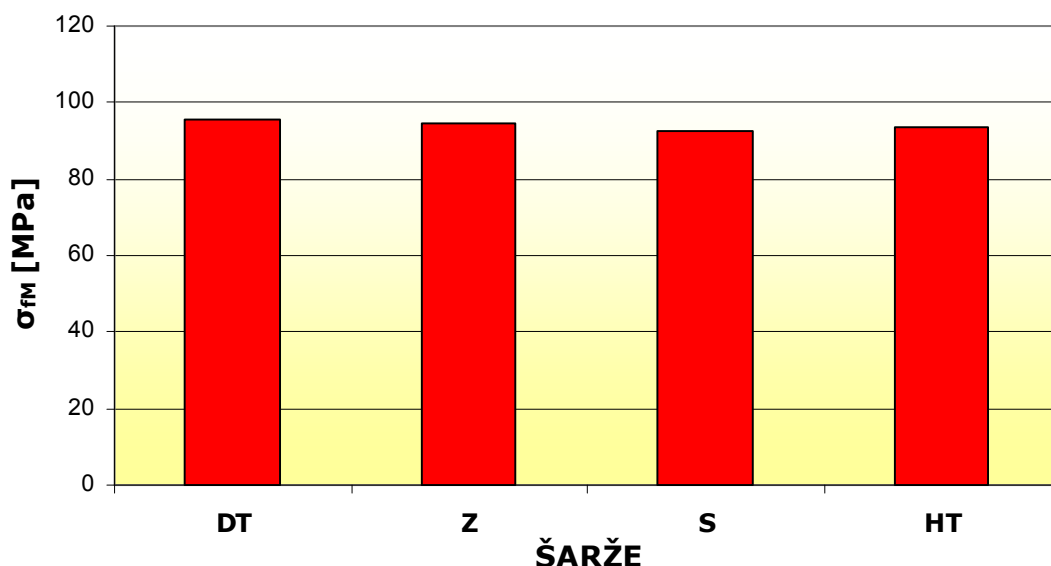
Z grafického vyjádření vrubové houževnatosti POM výstřiků lze konstatovat, že změna teploty taveniny, resp. změna teplot topných pásem tavicí komory a trysky vstřikovacího stroje v toleranci $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ od středních hodnot teplot topných pásem (viz protokol o nastavení vstřikovacího stroje, příloha 2) neovlivňuje negativně chování výstřiků při rázovém namáhání a to vzhledem k rozptylu experimentálně stanovených hodnot vrubové houževnatosti (vyjádřený výběrovou směrodatnou odchylkou).



Obr. 4.1 Vliv teploty taveniny na vrubovou houževnatost výstřiků POM Ultraform S2320 003

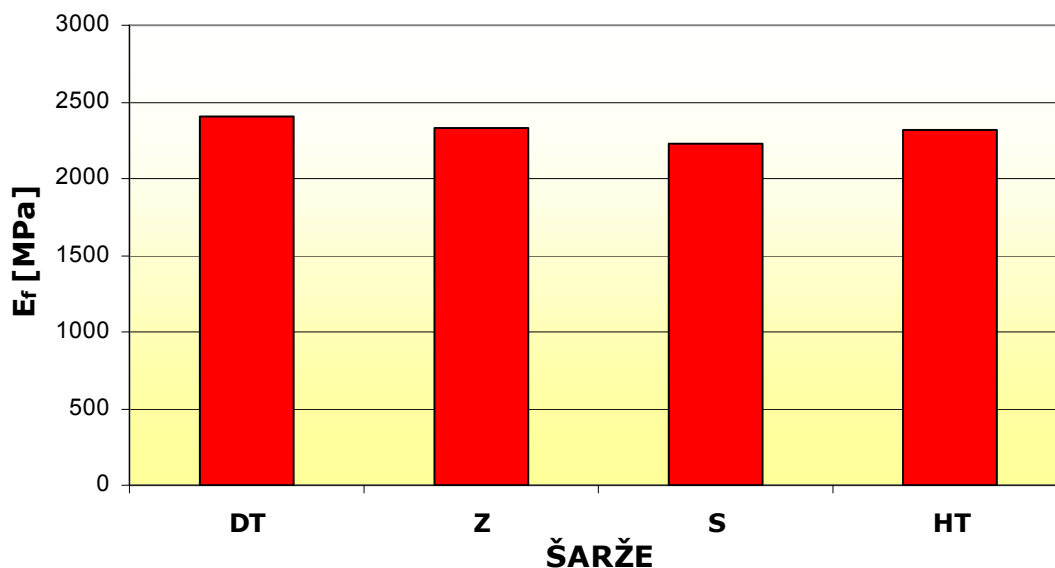
4.2 Vyhodnocení ohybových vlastností

Měření ohybových vlastností bylo prováděno dle normy ČSN EN ISO 178 na zkušebních tělesech C (viz obr. 3.5). Zaznamenáváním křivky ohybového napětí v závislosti na deformaci byly získány hodnoty ohybové pevnosti a ohybového napětí v průhybech s_1 a s_2 , z čehož byla následnými dopočty získána hodnota modulu pružnosti v ohybu (viz tab. 3.7 až tab. 3.10). Naměřené hodnoty jsou patrné z obr. 4.2 a obr. 4.3.



Obr. 4.2 Vliv teploty taveniny na pevnost v ohybu výstřiků POM Ultraform S2320 003

V tomto případě nepřineslo měření ohybových vlastností, obdobně jako při zkoušce vrubové houževnatosti, žádná negativa v podobě rozdílných mechanických vlastností, resp. hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti v ohybu jsou svými rozdíly naměřených hodnot zanedbatelné.

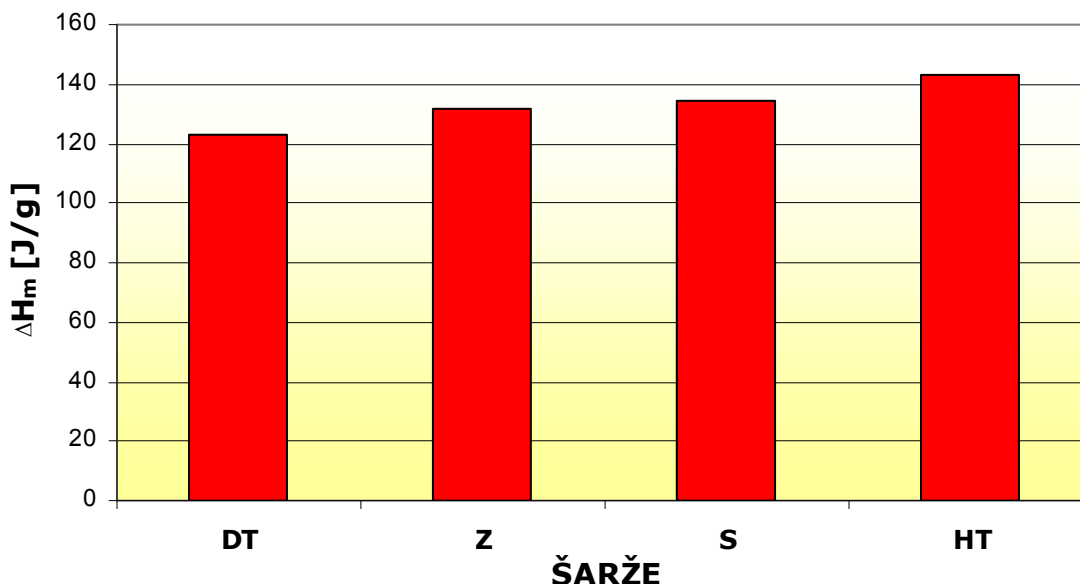


Obr. 4.3 Vliv teploty taveniny na modul pružnosti v ohybu výstřiků POM Ultraform S2320 003

4.3 Vyhodnocení krystalinity metodou diferenční snímací kalorimetrie

Norma ČSN EN ISO 11 357 – 1 se zabývá fyzikálními přeměnami polymerních materiálů metodou diferenční snímací kalorimetrie. Výsledky této metody jsou zaznamenány v DSC termogramech (viz obr. 3.14 až obr. 3.18), jež znázorňují tepelné toky (tání a krystalizace) zkoumaného materiálu v porovnání s referenčním vzorkem. K tomuto měření posloužily vzorky D (viz obr. 3.5).

Metoda diferenční snímací kalorimetrie umožňuje na základě hodnot entalpie tání zkoumaných vzorků stanovit nepřímou výslednou obsah krystalického podílu ve struktuře materiálu, resp. porovnat jednotlivé vzorky z pohledu uspořádání makromolekul na nadmolekulární úrovni změnou velikosti entalpie tání. Z obr. 4.4 je zřejmé, že s rostoucí teplotou taveniny (postupnou změnou teploty na topných zónách z dolní tolerance na horní toleranci) dochází k nárůstu entalpie tání vzorků v důsledku vyššího stupně krystalinity. Rozdíl mezi výstřiky z dolní a horní tolerance teplot v topných zónách tavicí komory je 20,1 J/g (16 %), viz tab. 3.12. Výsledky z termické analýzy jsou kromě vlastností materiálu, typu zařízení závislé také na metodických faktorech a přesnosti stanovení počátků a konců fázových přeměn. Jak ukazují výsledky z rentgenové difrakce (viz kap. 4.4) jsou hodnoty stupně krystalinity však zanedbatelné a nemají vliv na mechanické vlastnosti výstřiků, viz kap. 4.1 a kap. 4.2.



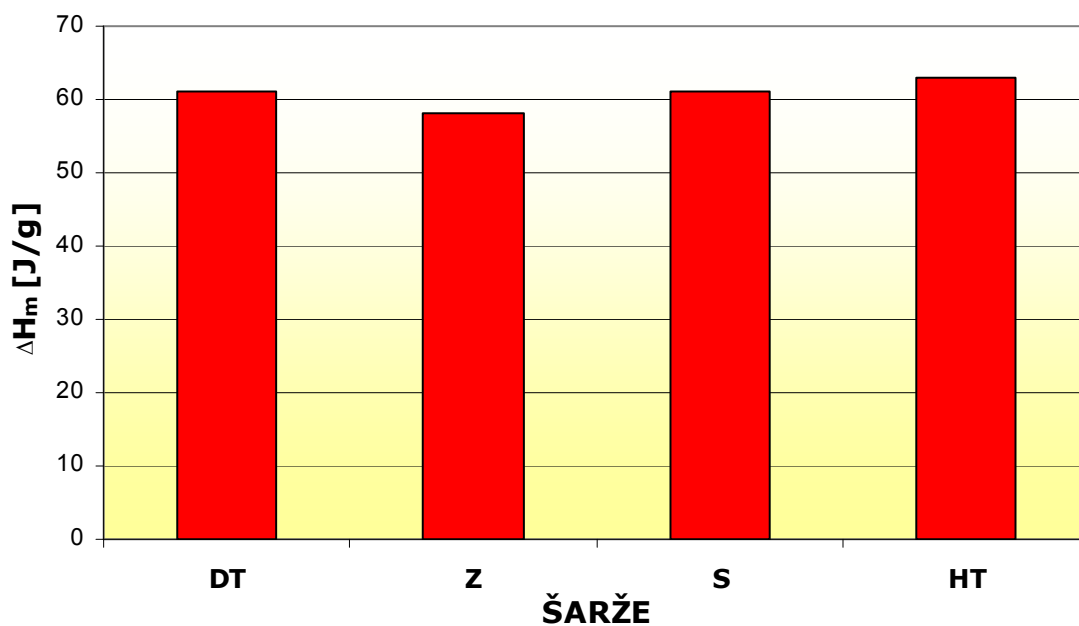
Obr. 4.4 Vliv teploty taveniny na velikost tepelných toků tání výstřiků POM Ultraform S2320 003

4.4 Vyhodnocení krystalinity metodou rentgenové difrakce záření X

Rentgenová difrakce (difrakce záření X) umožňuje pozorovat daný polymerní materiál z mnoha hledisek. V rámci této bakalářské práce byl však řešen pouze obsah krystalického podílu v polymeru v závislosti na teplotě taveniny při jeho vstřikování. Rentgenogramy (viz obr.

3.19 a obr. 3.20) znázorňují výsledný průběh intenzity krystalických a amorfních reflexí, z kterých je získán krystalický podíl poměrem ploch těchto intenzit. Velikost krystalického podílu může být ovlivněna nevhodným určením hranice mezi amorfním halo a krystalickou částí a také ztrátami vlivem měření.

Výsledné hodnoty stupně krystalinity jsou patrné z obr. 4.5 a lze konstatovat, že jejich hodnota je stejná u všech hodnocených šarží, resp. rozdíly mezi jednotlivými šaržemi jsou zanedbatelné. Hodnota krystalinity se pohybuje okolo 61 % a teplota taveniny nemá nežádoucí vliv na její výsledek.



Obr. 4.5 Vliv teploty taveniny na obsah krystalického podílu výstřiků POM Ultraform S2320 003

5. ZÁVĚR

Technologie zpracovávající plasty postupují neustálými inovacemi vpřed, stejně tak jako ostatních průmyslová odvětví. Současně je ale zapotřebí nejen vyvíjet nové technologie, ale také prohlubovat znalosti o stávajících metodách zpracování, používání daných materiálů atd. Výsledkem toho jsou nejen nové poznatky, které mají technologický charakter, ale mohou mít také ekonomický význam. V případě této bakalářské práce byl kladen důraz na teplotu taveniny při vstřikování dílu airbagové jednotky ze středně viskozního polyoxymethylenu Ultraform S2320 003. Cílem bakalářské práce bylo zhodnotit vhodnost tolerančního pole teploty taveniny, resp. topných zón tavicí komory, které mohou být dle technologického předpisu výroby nastaveny v rozmezí ± 25 °C. Teplotní interval o šířce 50 °C může u vstřikovaných dílů (zejména semikrystalických) předznamenávat vznik vad fyzikálně mechanického nebo tvarového charakteru.

Bakalářská práce byla řešena ve spolupráci s firmou TAKATA – PETRI PARTS s.r.o. a pro účely experimentálního měření byl vybrán konstrukční díl (označení dílu 960 12 858.10.01) ze sestavy Ford DEW 98 960 13 979.99.01. V průběhu experimentu byly v oblasti temperačních zón tavicí komory nastaveny teploty v předepsané toleranci ± 25 °C (viz kap. 3.1). Výsledná kvalita výstřiků byla vzhledem k aplikaci, ale také tvarové a rozměrové geometrii dílu hodnocena analýzou mechanických vlastností při ohybovém a rázovém namáhání a také studiem morfologie výstřiků (nadmolekulární struktury) prostřednictvím stupně krystalinity metodou diferenční snímání kalorimetrie a širokoúhlou difrakcí záření X.

Ve fázi výroby při vstřikování nebyl prokázán negativní vliv tolerančního pole na povrchovou a tvarovou kvalitu výstřiku v celé šířce teplotního pásma. Díly byly při všech čtyřech šaržích vystříknuty celé, bez nedostříknutých částí a bez zjevných povrchových vad. Následným měřením rázových a ohybových vlastností nebyly zjištěny negativní změny mechanických vlastností výstřiků, které by mohly být způsobeny poklesem nebo zvýšením teploty taveniny v hodnoceném teplotním intervalu. DSC metodou byly ověřovány poznatky o tepelných tocích polyoxymetylenových výstřiků ve fázi jejich ohřevu, tavení, které uvádějí, že polymery s vyšším podílem krystalické fáze vyžadují vyšší tepelnou náročnost. Tento efekt byl také pozorovatelný v celém spektru tolerančního pole, neboť rozdílnost hodnot při tomto měření byla nejznatelnější. Určit stupně krystalinity však nebylo technicky možné touto metodou provést. Z toho důvodu byla prováděna rentgenová difrakce zářením X, která však neposkytla nikterak zásadní rozdíl ve stupni krystalizace. Lze tedy konstatovat, že teplota taveniny v celém spektru tolerančního pole nemá zásadní vliv na změny krystalického podílu ve struktuře výstřiků.

Z celkového hlediska lze říci, že nastavené hodnoty teploty taveniny v rozmezí ± 25 °C vyhovují vzhledovým i tvarovým požadavkům a nevykazují nežádoucí mechanické vlastnosti

výstřiků. Dle výsledků je tedy zřejmé, že nastavený teplotní rozsah v případě vstřikování polyoxymethylenu Ultraform S2320 003 je nastaven správně a nenadálá odchylka od standardních teplotních hodnot nezapříčiní vznik neshodného dílu.

LITERATURA

- /1/ VANĚK, V., *Materiály a Technologie I: Plasty (Textové opory pro kombinované studium UOP)* [online]. Ostrava, 2005 [cit. 2012-05-10]. bez ISBN. Dostupné z: http://files.pazderalev.webnode.cz/200000145-01a2b029c2/Textov%C3%A1_opora-PLASTY2005.doc
- /2/ LENFELD, P., *Technologie II. - 2. část: (zpracování plastů)*. 2. vyd. Liberec: TU v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-467-2.
- /3/ PŘEHNAL, J., *Technologie výroby plastového krytu mobilního telefonu*. Brno, 2006. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16770. Diplomová práce. VÚT v Brně. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.
- /4/ KREBS, J., *Teorie zpracování nekovových materiálů: část 1. Zpracování plastů*. Liberec: VŠST v Liberci, 1991. ISBN 80-7083-074-3.
- /5/ Server Ozeáš. *Příprava polymerů* [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://ozeas.sdb.cz/panska/2A/kazi/36%20%20Příprava%20polymerů.doc>
- /6/ KREBS, J., *Teorie a technologie zpracování plastů*. Liberec: VŠST v Liberci, 1981. bez ISBN.
- /7/ KOLOUCH, J., *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: SNTL, 1986. bez ISBN.
- /8/ NEUHÄUSL, E., Vady výstřiků - 6. díl: Skryté vady (orientace, struktura, nehomogenita). *MM Průmyslové spektrum*. 2010, č. 11, s. 40-42. ISSN 1212-2572.
- /9/ LEDNICKÝ, F., *Mikroskopie a morfologie polymerů: Díl 2. Morfologie polymerů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-487-0.
- /10/ Nichigo G-Polymer product development concept. *Nippon Gohsei* [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.g-polymer.com/eng/kaihatukonseputo/images/110417153403430109549.gif>
- /11/ Progress in Materials Science. *Science Direct* [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642511000648>
- /12/ NOVÁK, J., JURNEČKOVÁ, J., *Základy vstřikování termoplastů: Studijní text kursu seřizovačů*. Brno, 1996.
- /13/ FOJTÍK, J., *Návrh technologie výroby plastového držáku uhlíku*. Brno, 2011. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40857. Diplomová práce. VÚT v Brně. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.
- /14/ NEUHÄUSL, E., Vady výstřiků - 1. díl: Příčiny vzniku vad a studeného spoje. *MM Průmyslové spektrum*. 2010, č. 3, s. 58-61. ISSN 1212-2572.

- /15/ NEUHÄUSL, E., Vady výstřiků - 4. díl: Vady vzhledové a jejich kontrola. *MM Průmyslové spektrum*. 2010, č. 7, s. 56-57. ISSN 1212-2572.
- /16/ NEUHÄUSL, E., Vady výstřiků - 3. díl: Vady vzhledové. *MM Průmyslové spektrum*. 2010, č. 5, s. 48-51. ISSN 1212-2572.
- /17/ Vady výstřiků - 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady. NEUHÄUSL, E., *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady.html>
- /18/ PILAŘ, M., Nové typy a aplikace acetalů. *MM Průmyslové spektrum*. 2010, 1, 2, s. 20-21. ISSN 1212-2572.
- /19/ Makromolekulární látky. ROZMAJZL, P., *Portál Gymnázia F. X. Šaldy v Liberci* [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://chemie.gfxs.cz/data/plasty/plasty.pdf>
- /20/ *Campus: the plastic database* [online]. 2012 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: www.campusplastics.com
- /21/ DUCHÁČEK, V., *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: VŠCHT v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- /22/ ŘEHULKA, Z., *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Sekurkon. ISBN 80-86604-18-7.
- /23/ ČSN EN ISO 179-1. *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy: Část 1: Neinstrumentovaná rázová zkouška*.
- /24/ ČSN EN ISO 178. *Plasty - Stanovení ohybových vlastností*.
- /25/ MEISSNER, B., ZILVAR, V., *Fyzika polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1987. bez ISBN.
- /26/ ČSN EN ISO 11377-1. *Plasty - Diferenční snímací kalorimetrie (DSC): Část 1: Základní principy*.
- /27/ KOLEKTIV AUTORŮ. *Základy fyziky polymerů*. Praha: ÚMCh ČAV. Makro M-16.

SEZNAM PŘÍLOH

1. Seznámení s firmou TAKATA – PETRI PARTS s. r. o.
2. Protokol o nastavení vstřikovacího stroje při výrobě dílu 960 12 858.10.01
3. Tabulka rozměrů zkušebních těles dolní tolerance.
4. Tabulka rozměrů zkušebních těles šarže zvolené
5. Tabulka rozměrů zkušebních těles ze standardních dílů
6. Tabulka rozměrů zkušebních těles horní tolerance
7. Ohybové napětí v závislosti na deformaci – šarže DT
8. Ohybové napětí v závislosti na deformaci – šarže Z
9. Ohybové napětí v závislosti na deformaci – šarže S
10. Ohybové napětí v závislosti na deformaci – šarže HT
11. Přístroj PANalytical X'Pert PRO na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně

PŘÍLOHA 1 Seznámení s firmou TAKATA – PETRI PARTS s. r. o.

Firma TAKATA – PETRI PARTS s.r.o. má kořeny sahající hluboko do minulosti. Tehdy však nepoužívala tento název, neboť se jednalo o dvě firmy, a to Petri AG a Takata Kojyo. Prvně jmenovaná firma vznikla v roce 1899 v Německu a specializovala se na výrobu řídítek bicyklů, volantů a v 60. letech rozšířila svoji výrobu o montáž airbagových jednotek a zpracování plastů. Firma Takata Kojyo vznikla v roce 1933 s výrobou zaměřenou na tkané technické výrobky, zejména pojistná lanka padáků, později bezpečnostní pásy. V tomto bezpečnostním odvětví získala takřka monopol na trhu a jako první na světě zprovoznila v roce 1963 k těmto účelům laboratoř zádržných systémů. V roce 2000 došlo k fúzi těchto dvou firem a zřízení hlavního sídla v německém Aschaffenburgu.

Historie společnosti na území České republiky sahá do roku 1992, kdy zde byla zahájena výroba šitých kožených volantů. Postupně se ve výrobních závodech v Dolní Kalné a Rtyni v Podkrkonoší začaly dále vyrábět kabelové svazky, plastové díly, airbagové jednotky a například snímače úhlu natočení kol. Tyto díly tvoří výrobní program podniku i v současnosti. Roční produkce závodu v Dolní Kalné je necelých 1 200 000 kusů, tvořených 315 výrobními typy a celkové roční produkce obou podniků činí necelých 10 600 000 kusů. Hlavním odběratelem těchto dílů je automobilový průmysl. Ke konci roku 2011 poskytoval závod v Dolní Kalné zaměstnání 93 pracovníkům a sesterský závod ve Rtyni v Podkrkonoší 415 pracovníkům.



Letecký pohled na výrobní závod firmy
TAKATA – PETRI PARTS s. r. o. v Dolní Kalné

PŘÍLOHA 2 Protokol o nastavení vstřikovací stroje při výrobě dílu 960 12 858.10.01

TAKATA - PETRI PARTS s.r.o. Dolní Kalná		Nastavení vstřikovacího stroje										FB MA 025	
Středisko: WI Vstřikování													
Odpovědný pracovník mistr							Interval : podle potřeby						
Pracoviště : VSTŘIKOVÁNÍ													
Nastavené hodnoty pro: 960 12858.10.01													
Stroj název : ARBURG 270 CMD							Stroj číslo SGM 7						
Program číslo		Tolerance	Výchozí hodnota	datum									
960 12858				jméno									
Teplota T 801		± 25°	190										
Teplota T 802		± 25°	195										
Teplota T 803		± 25°	195										
Teplota T 804		± 25°	200										
Teplota T 805		± 25°	205										
Teplota T 806													
Teplota T 807		± 25°	185										
Teplota T 808		± 25°	180										
Teplota T 809													
Teplota T 810													
Teplota T 811													
dotlak p 321		± 150	330										
dotlak p 322		± 150	290										
dotlak p 323		± 150	200										
vstřik. rychlost Q 301		± 10	6										
vstřik. rychlost Q 302		± 10	25										
vstřik. rychlost Q 303													
materiál. polštář V 321		± 0,8	3										
vstřikovací tlak p 301		± 300	2500										
objem materiálu V 403		± 5	45,5										
čas vstřikování		± 0,2	2,04										
čas dotlaku		± 4	10,1										
bod přepnutí V 311		± 3	6										
teplota formy T 861		± 8	50										
čas chlazení		± 5	12										
barvicí jednotka													
sušení granulátu		90-120°	90										
Pozor:													
Hodnoty smí měnit pouze oprávněná osoba.							Podpis : Stránský O.						
Každá změna musí obsahovat jméno a datum.													
Udržujte prosím formulář v čistotě a pečlivě vyplňujte.							Datum : 12.1.2007						
Na zadní stranu formuláře zapisujte důvod změny.													

PŘÍLOHA 3 Tabulka rozměrů zkušebních těles dolní tolerance

SOUČÁST	b [mm]	l [mm]	h [mm]
DT 1. - A	10,05	81,30	2,75
DT 1. - B	10,00	81,70	2,75
DT 1. - C	9,85	81,75	2,75
DT 2. - A	9,85	81,90	2,75
DT 2. - B	10,00	81,05	2,75
DT 2. - C	9,90	81,75	2,75
DT 3. - A	9,90	81,60	2,75
DT 3. - B	10,10	81,55	2,75
DT 3. - C	9,90	81,80	2,75
DT 4. - A	9,95	81,55	2,75
DT 4. - B	10,05	81,50	2,75
DT 4. - C	9,90	81,10	2,75
DT 5. - A	10,05	81,85	2,75
DT 5. - B	9,90	81,70	2,75
DT 5. - C	10,05	81,10	2,75
DT 6. - A	10,00	81,20	2,75
DT 6. - B	9,80	81,30	2,75
DT 6. - C	10,05	81,55	2,75
DT 7. - A	10,15	81,50	2,75
DT 7. - B	10,05	81,05	2,75
DT 7. - C	9,95	81,35	2,75
DT 8. - A	10,15	81,40	2,75
DT 8. - B	10,20	81,65	2,75
DT 8. - C	10,20	81,35	2,75
DT 9. - A	10,20	81,25	2,72
DT 9. - B	10,15	81,35	2,75
DT 9. - C	10,15	81,55	2,75
DT 10. - A	9,95	81,15	2,72
DT 10. - B	10,10	81,35	2,75
DT 10. - C	9,95	81,55	2,75

PŘÍLOHA 4 Tabulka rozměrů zkušebních těles šarže zvolené

SOUČÁST	b [mm]	l [mm]	h [mm]
Z 1. - A	9,85	81,35	2,75
Z 1. - B	8,85	81,25	2,75
Z 1. - C	9,80	82,00	2,75
Z 2. - A	9,85	81,75	2,75
Z 2. - B	9,95	81,45	2,75
Z 2. - C	10,00	81,20	2,75
Z 3. - A	9,90	81,60	2,75
Z 3. - B	9,80	81,85	2,75
Z 3. - C	9,85	81,85	2,75
Z 4. - A	9,85	81,95	2,75
Z 4. - B	9,95	81,30	2,75
Z 4. - C	9,80	80,25	2,75
Z 5. - A	9,85	80,35	2,75
Z 5. - B	9,85	80,30	2,75
Z 5. - C	10,00	81,55	2,75
Z 6. - A	10,05	81,20	2,75
Z 6. - B	10,05	82,00	2,75
Z 6. - C	9,85	81,50	2,75
Z 7. - A	9,85	81,25	2,75
Z 7. - B	9,85	82,00	2,75
Z 7. - C	9,80	81,40	2,75
Z 8. - A	9,85	81,30	2,75
Z 8. - B	9,85	81,50	2,75
Z 8. - C	9,85	81,60	2,75
Z 9. - A	9,85	81,15	2,75
Z 9. - B	9,80	81,05	2,75
Z 9. - C	9,85	81,45	2,75
Z 10. - A	9,80	82,00	2,75
Z 10. - B	9,90	81,15	2,75
Z 10. - C	9,85	81,30	2,75

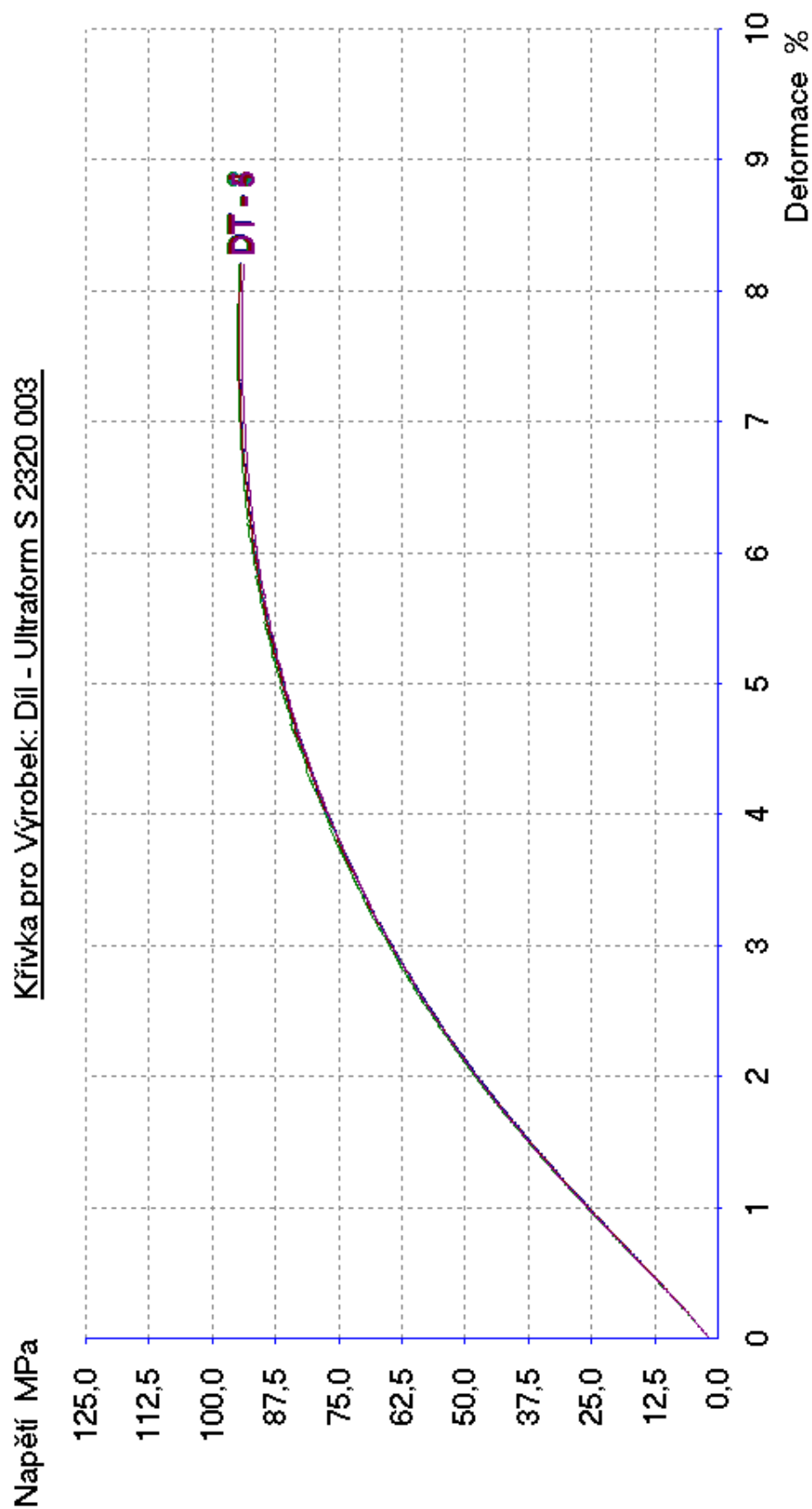
PŘÍLOHA 5 Tabulka rozměrů zkušebních těles ze standardních dílů

SOUČÁST	b [mm]	l [mm]	h [mm]
S 1. - A	9,85	81,55	2,75
S 1. - B	9,90	81,70	2,75
S 1. - C	9,80	81,70	2,77
S 2. - A	9,80	81,35	2,75
S 2. - B	9,85	81,75	2,75
S 2. - C	9,85	81,30	2,75
S 3. - A	9,95	81,60	2,75
S 3. - B	9,80	80,15	2,75
S 3. - C	9,90	80,35	2,77
S 4. - A	9,80	80,10	2,75
S 4. - B	9,85	81,20	2,75
S 4. - C	9,80	81,35	2,75
S 5. - A	9,95	81,85	2,75
S 5. - B	9,95	80,25	2,75
S 5. - C	10,10	78,55	2,75
S 6. - A	10,00	81,65	2,75
S 6. - B	9,85	81,35	2,75
S 6. - C	10,05	80,70	2,75
S 7. - A	10,00	82,00	2,75
S 7. - B	10,00	82,00	2,75
S 7. - C	10,05	81,55	2,75
S 8. - A	9,90	81,80	2,75
S 8. - B	-	-	-
S 8. - C	-	-	-
S 9. - A	10,00	81,75	2,75
S 9. - B	9,90	81,40	2,75
S 9. - C	10,00	81,65	2,75
S 10. - A	9,95	81,65	2,75
S 10. - B	9,85	82,00	2,75
S 10. - C	9,80	81,65	2,75

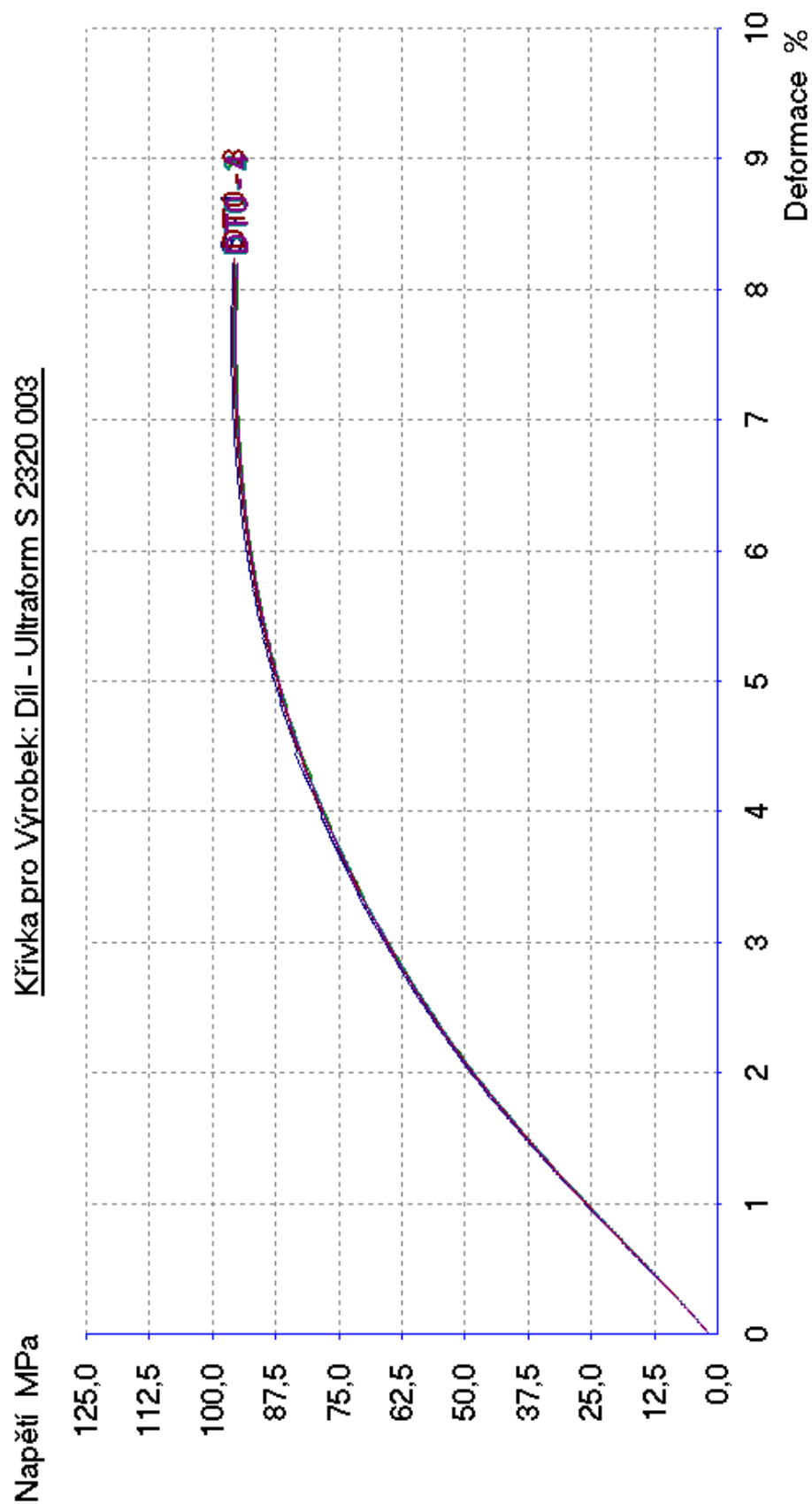
PŘÍLOHA 6 Tabulka rozměrů zkušebních těles horní tolerance

SOUČÁST	b [mm]	l [mm]	h [mm]
HT 1. - A	9,90	80,00	2,75
HT 1. - B	10,00	81,55	2,70
HT 1. - C	9,80	81,50	2,75
HT 2. - A	9,95	81,90	2,75
HT 2. - B	9,90	81,20	2,70
HT 2. - C	9,85	81,30	2,70
HT 3. - A	10,05	81,55	2,70
HT 3. - B	9,90	81,60	2,70
HT 3. - C	10,05	82,00	2,75
HT 4. - A	9,85	81,30	2,70
HT 4. - B	9,95	81,05	2,70
HT 4. - C	10,05	81,50	2,70
HT 5. - A	9,95	81,95	2,70
HT 5. - B	9,95	81,25	2,70
HT 5. - C	9,90	81,50	2,75
HT 6. - A	10,15	81,65	2,75
HT 6. - B	9,95	81,95	2,70
HT 6. - C	10,05	81,05	2,70
HT 7. - A	9,90	81,55	2,70
HT 7. - B	9,85	81,05	2,70
HT 7. - C	10,00	81,70	2,70
HT 8. - A	10,00	81,60	2,70
HT 8. - B	9,95	81,30	2,70
HT 8. - C	9,90	81,25	2,75
HT 9. - A	9,85	81,30	2,70
HT 9. - B	9,80	81,30	2,70
HT 9. - C	9,90	81,45	2,70
HT 10. - A	9,85	81,60	2,70
HT 10. - B	9,85	81,40	2,70
HT 10. - C	9,80	81,40	2,75

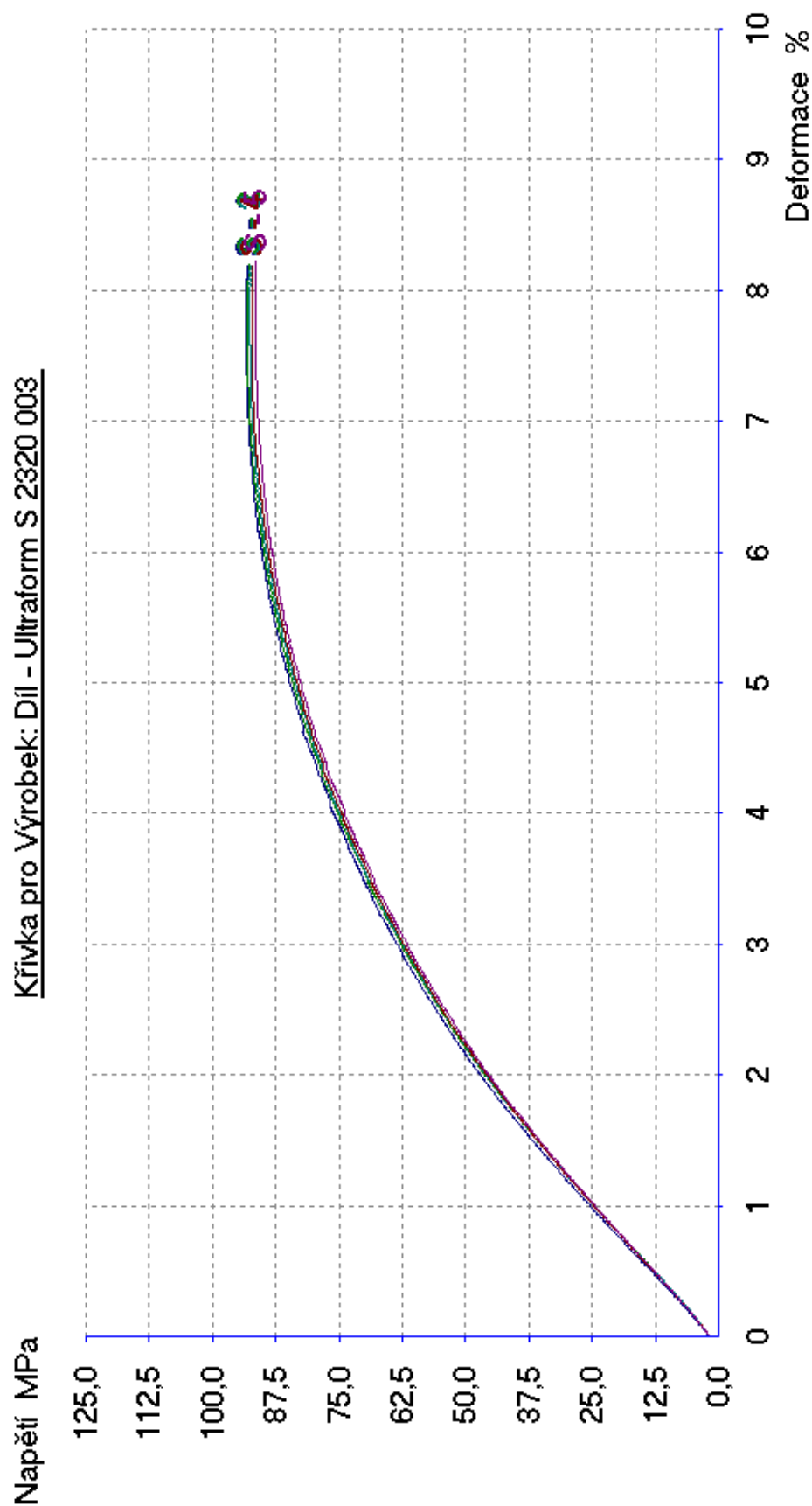
PŘÍLOHA 7 Ohybové napětí v závislosti na deformaci - šarže DT



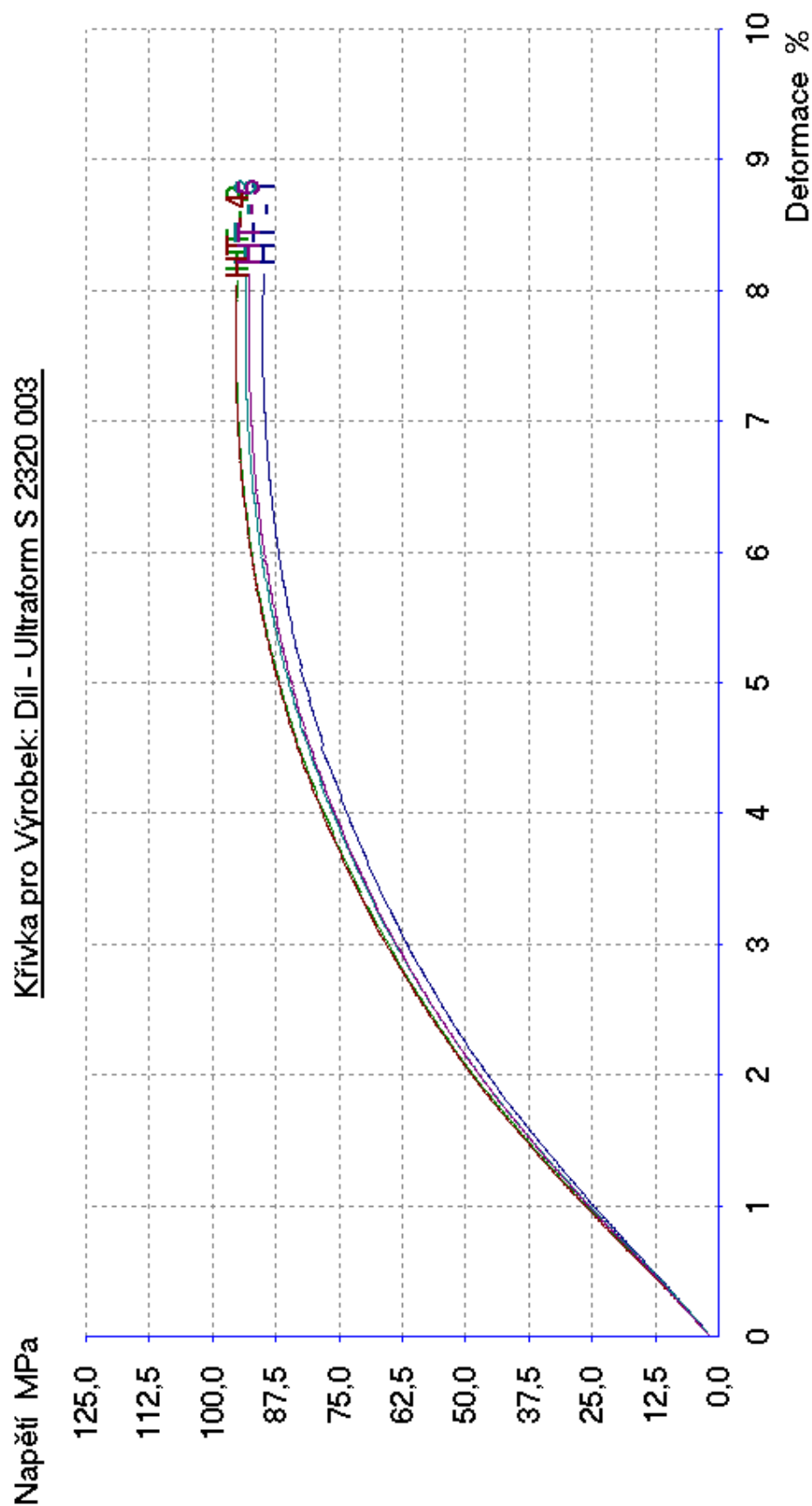
PŘÍLOHA 8 Ohybové napětí v závislosti na deformaci - šarže Z



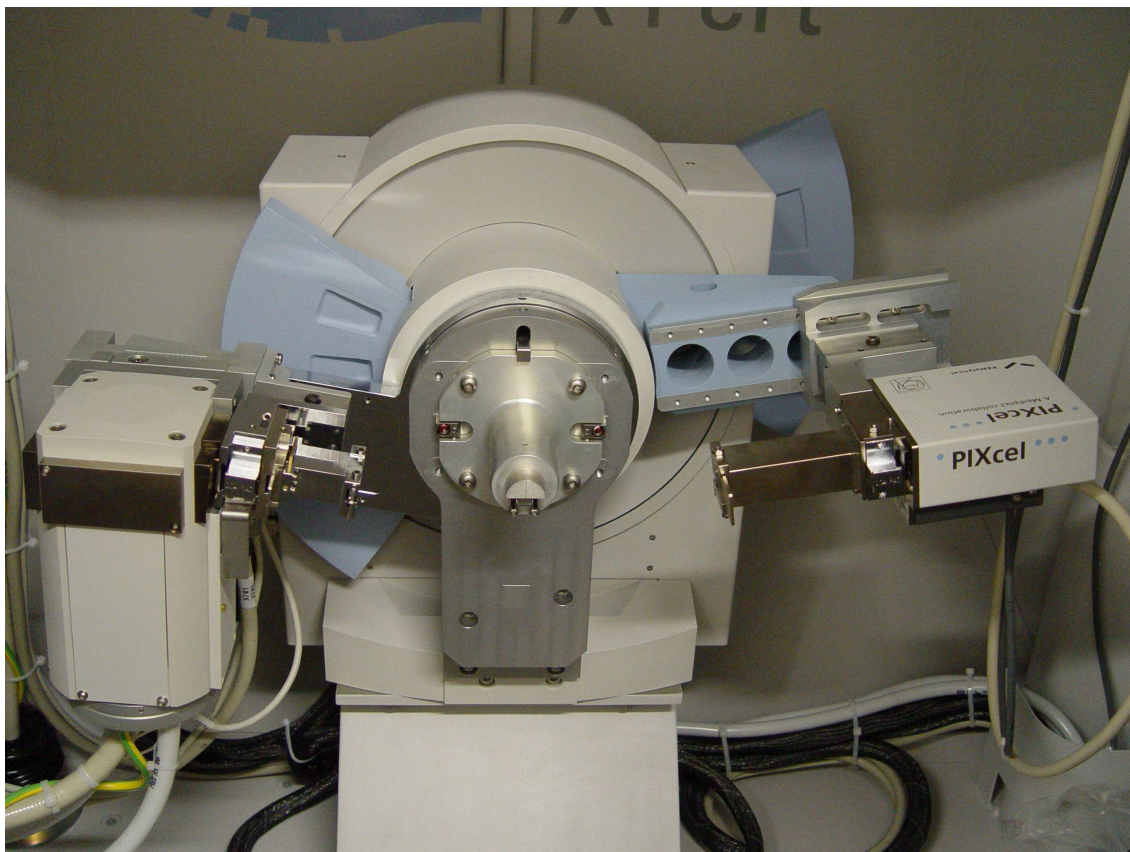
PŘÍLOHA 9 Ohybové napětí v závislosti na deformaci - šarže Z



PŘÍLOHA 10 Ohybové napětí v závislosti na deformaci - šarže HT



PŘÍLOHA 11 Přístroj PANalytical X'Pert PRO na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

V Liberci, 25. května 2012

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and consultant.

Date

In Liberec, 25th May 2012

Signature